脑与学习科学新视野译丛
董　奇／主编　周加仙／副主编

受教育的脑
——神经教育学的诞生

THE EDUCATED BRAIN
ESSAYS IN NEUROEDUCATION

◎ 安东尼奥·M. 巴特罗　库尔特·W. 费希尔　皮埃尔·J. 莱纳／主编
◎ 北京师范大学认知神经科学与学习
国家重点实验室脑科学与教育应用研究中心／组织翻译
◎ 周加仙 等／译



ESPH 教育科学出版社
Educational Science Publishing House

THE EDUCATED BRAIN
ESSAYS IN NEUROEDUCATION

本书由神经教育学研究领域中的领军研究者所撰写，汇聚了神经教育学的最新研究进展。第一部分侧重与心脑问题有关的历史与认识论问题以及神经教育学所涉及的范畴；第二部分提供了教育中脑科学基础研究的基本观点、脑成像技术的运用以及对脑与认知发展的研究；第三部分主要关注不同文化中语言和阅读的神经机制研究以及基本数学概念的习得。

本书的出版标志着神经教育学的诞生。随着神经教育学这一新兴领域的诞生，在全球范围内，一个庞大的科学家和教育者相互合作的研究网络正在形成；一个探索由生命科学、认知科学和教育学整合而形成新兴知识体系的新时代已经到来；一场改革教育研究的革命正在酝酿之中。我们期待着这一新兴的研究领域为21世纪的学校学习和教学方式带来深刻的变革。

安东尼奥·M. 巴特罗（Antonio M. Battro），
阿根廷国家教育研究院院士，梵蒂冈教皇科学院院士

库尔特·W. 费希尔（Kurt W. Fischer），
哈佛大学教育研究院教授，“心理、脑与教育”项目负责人

皮埃尔·J. 莱纳（Pierre J. Léna），
巴黎第七大学天体物理学荣誉教授，法国科学院教育代表与成员，梵蒂冈教皇科学院院士

定价：35.80元


ISBN 978-7-5041-5346-3

责任编辑：刘明堂
封面设计：徐丛巍

脑与学习科学新视野译丛

董　奇／主编　周加仙／副主编

受教育的脑

——神经教育学的诞生

THE EDUCATED BRAIN

ESSAYS IN NEUROEDUCATION

教育科学出版社
·北京·

责任编辑　刘明堂
版式设计　贾艳凤
责任校对　曲凤玲
责任印制　曲凤玲

图书在版编目（CIP）数据

受教育的脑：神经教育学的诞生/（阿根廷）巴特罗，（美）费希尔，（法）莱纳主编；周加仙等译．—北京：教育科学出版社，2011.1

（脑与学习科学新视野译丛/董奇主编）

书名原文：The Educated Brain：Essays in Neuroeducation

ISBN 978-7-5041-5346-3

Ⅰ.①受…　Ⅱ.①巴…　②费…　③莱…　④周…　Ⅲ.①脑科学—研究②教育心理学—研究　Ⅳ.①R338.2 ②G44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 216231 号

北京市版权局著作权合同登记　图字：01-2008-6171 号

出版发行	教育科学出版社		
社　　址	北京·朝阳区安慧北里安园甲 9 号	市场部电话	010-64989009
邮　　编	100101	编辑部电话	010-64989419
传　　真	010-64891796	网　　址	http://www.esph.com.cn
经　　销	各地新华书店		
制　　作	北京鑫华印前科技有限公司		
印　　刷	保定市中画美凯印刷有限公司	版　　次	2011 年 1 月第 1 版
开　　本	169 毫米×239 毫米　16 开	印　　次	2011 年 1 月第 1 次印刷
印　　张	15.25	印　　数	1-3 000 册
字　　数	259 千	定　　价	35.80 元

如有印装质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

译丛总序

人脑是世界上最复杂的物质系统，它所具有的学习功能是其他一切生物无法比拟的。在人类学习的研究中，由于研究方法与手段的局限性，无论是古代东西方对学习的思辨，还是近现代流派纷呈的学习理论，都回避了对学习的器官——脑的探索，使学习的研究停留在外显的行为以及对内部心理机制的推测上。

随着脑科学的迅猛发展以及研究方法与工具的进步，人们日益重视脑、认知与学习之间的关系。学习科学研究者将真实情境中的学习作为研究对象，运用科学的研究方法，来理解人类学习过程中的认知活动及其神经机制，探讨学习、认知与发展的过程与本质。学习作为人类极其复杂的现象，只有整合不同学科的视野才能对其有完整、科学的认识，因此学习科学是多学科、跨学科的研究领域。

最先用科学的方法来研究脑与学习关系的是诞生于20世纪50年代中期的认知科学。认知科学是研究人、动物和机器的智能本质和规律的科学，研究内容包括知觉、学习、记忆、推理、语言理解、知识获得、注意、情感等统称为意识的高级心理现象。认知科学从诞生之日起，就从多学科的视角来研究学习。到20世纪70年代，认知科学家开始研究人类是怎样解决问题的，关注数学、科学、阅读和写作等学校教育教学中涉及的重要问题。他们发现专家与新手采用不同的方式来解决各种学习领域中的问题，认为专家与新手的区别是理解学习的第一步，“学习就是新手变为专家的过程”①，追踪这一过程中的思维变化可以研究学习的产生。20世纪90年代以后，认知科学转变了脱离学习情

① Bruer, J. B. Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1993, p. 2.

境、关注静态知识的实验室研究方式，转而重视学习者的思维与求知过程。认知科学对表征、专家知识、问题解决和思维等的研究，成为学习科学的核心概念。经过20余年的发展,《学习科学杂志》于1991年创刊。2002年“国际学习科学协会”（The International Society of the Learning Sciences）成立。目前美国的西北大学、斯坦福大学等许多著名大学都设立了学习科学专业，从认知科学的角度来探究学生的学习。

在认知科学发展的同时，与此相关的另一门新兴学科也在形成之中。美国心理学家George Miller于20世纪70年代提出了“认知神经科学”一词，率先将脑科学和认知科学结合起来。在90年代“脑的十年”里，随着脑成像技术的发展以及Michael S. Gazzaniga、George Miller、Michael I. Posner等一批认知神经科学家卓有成效的研究，认知神经科学迅速发展起来。认知神经科学的研究任务在于阐明自我意识、思维想象和语言等人类认知活动的神经机制，研究脑是如何调用各层次上的组件，包括分子、细胞、脑组织区和全脑去实现自己的认知活动的。[①] 教育与认知神经科学结合起来的研究已成为当前国际上备受关注的新兴研究领域。1999年经济合作与发展组织启动了“学习科学与脑科学研究”项目，目的是在教育研究人员、教育决策专家和脑科学研究人员之间建立起密切的合作关系，通过跨学科的合作研究来探明与学习有关的脑活动，从而更深入地理解个体生命历程中的学习过程。2003年11月，“国际心智、脑与教育协会”成立，标志着科学界与教育界更加紧密地合作起来，共同研究人类学习与学习科学。

目前，许多国家的政府都采取了一系列重要措施，大力支持脑与学习科学的研究与应用工作，并将它作为国家科技与教育发展的重要议程。新世纪伊始，美国国家科学基金会就积极酝酿筹办学习科学研究中心以及学习科学孵化中心。从2003年起，美国国家科学基金将投入约1亿美元，正式建立6个学习科学中心以及若干个学习科学孵化中心。这些学习科学中心分别从生物、认知、计算机、数学、物理、社会科学、工程以及教育等多种学科交叉的角度来研究学习，甚至还涉及机器学习、学习技术以及所有有关学习的数学分析与模型的研究。日本政府也非常重视脑科学与教育的研究，日本文部科学省于2003年元旦启动了庞大的“脑科学与教育”研究项目。2004年，欧洲启动了由8个不同国家的实验室共同合作的研究项目“计算技能与脑发育”项目，研究计算能力的脑机制，并将研究成果运用于数学教育。这些研究组织与机构的创

① Gazzaniga，M. S.：《认知神经科学》，沈政等译，上海教育出版社，1998年。

立表明，无论在北美洲、欧洲，还是在亚洲，全方位、多层面的学习科学研究已经蓬勃地开展起来。

我国对学习的研究已有悠久的历史。在古代，人们把“学习”看作是包含“学”与“习”两个独立环节的过程。“学”是指人获得直接与间接经验的认识活动，兼有思的含义；“习”是指巩固知识、技能等实践活动，兼有行的意思。① 最早将“学”与“习”联系起来强调“学”与“习”之间内在联系的是孔子，他说：“学而时习之，不亦说（悦）乎！”（《论语·学而》）又说：“学而不思则罔，思而不学则殆。”（《论语·为政》）说明“学”是“习”的基础与前提，“习”是“学”的巩固与深化，在学习的过程中可以感受到愉悦的情绪体验，揭示了学习、练习、情绪、思维之间的关系。由此可见，我国古代把学习看作是学、思、习、行、情的总称，对学习的这种探讨已经触及了一个重要的科学研究问题：学习过程中认知、情绪、行为三者之间的统一关系。

20 世纪初期与中期，我国有一些学者出版了有关学习的论著，如杨贤江撰写的《学习法概论》(1923)、周冰原撰写的《学习观点与学习方法》(1950) 等。经过多年的发展，20 世纪 70 年代末 80 年代初，开始形成了学习学的理论与实践研究，并出版了大量专著，学习学的研究在全国展开。1987 年 6 月，在南京召开的“全国第一届学习科学讨论暨讲习班”成为学习学研究历史上的一次重要会议。此后，全国学习学专业机构纷纷成立，并多次举办了全国性的学习学会议。学习学的理论与实践研究也有了新的进展。但是，目前学习学的研究仍然停留于行为研究与思辨层面，关注较多的是学生的学习心理研究、学习规律的观察与总结、学习经验的交流、学习方法的指导等方面，而对脑与学习的关系则探讨较少。

20 世纪 90 年代中后期，在当时国务院科技领导小组、国家科技部、教育部、自然科学基金委的支持下，我国开始重视脑科学与教育的研究，并多次举行专题研讨会。以脑科学研究为基础的学习科学才逐渐受到关注，并成立了专门的研究机构。2000 年，教育部在北京师范大学建立了认知科学与学习教育部重点实验室；2002 年，韦钰院士在东南大学发起成立了学习科学研究中心；2005 年，国家科技部在北京师范大学成立了“认知神经科学与学习”国家重点实验室；关注脑的学习功能与生理机制的学习科学研究受到了重视。

---

① 桑新民：《学习究竟是什么？——多学科视野中的学习研究论纲》，《开放教育研究》第 11 卷第 1 期，2005 年 2 月，第 8-9 页。

北京师范大学“认知神经科学与学习”国家重点实验室的主要目标是研究人类学习的脑机制，并将研究成果运用于学校的教育教学与学生的心理健康发展。我们从认知科学、认知神经科学的角度，围绕“学习与脑可塑性”这一核心问题，研究学习的一般机制和特殊规律，已经在认知能力的发展与促进，社会认知、行为的心理与神经机制，认知障碍，英语、汉语以及汉英双语表征的神经机制与学习方面取得了许多研究进展和突破。我本人也主持了国家攀登项目、国家杰出青年基金项目、科技部国际合作重点项目、教育部人文社科重大项目等重要课题，组织北京师范大学和国内外有关专家从多学科角度进行联合攻关，在脑与学习科学的研究方面取得了许多有价值的成果。

近年来，在各国的重视下，脑科学已经开始运用于教育，其取得的初步成果和出现的问题，对我国开展该方面的工作均有重要参考、借鉴意义。为此，我们决定组织“脑与学习科学新视野”译丛，根据我国学习科学研究与学校教育的需要，选择国际学习科学研究中最权威、最重要的研究成果介绍给教育科学工作者、决策者与实践者，尤其是有志于从事脑与学习科学研究的工作者。译丛中的书籍分别从认知科学和认知神经科学的角度来阐明学习科学。有些书籍是不同国际组织召集国际上资深科学家研讨而成；有些书籍勾勒出脑与学习科学的具体研究框架；有些书籍让大家了解脑与学习科学的最新研究进展。因此，本译丛最大的一个特点在于，其作者均为脑与学习科学研究领域的国际著名专家或者相关国际研究组织，这些书籍也都由国际知名出版社出版发行。原书作者的许多见解有助于我们更好地把握国际脑与学习科学发展的趋势与存在的争论，有助于促进我国脑与学习科学的研究工作。

值此译丛出版之际，我要对译丛中各著作的原作者和出版社表示谢意；我还要感谢教育科学出版社的同志细致、耐心的工作；感谢参与本译丛翻译的老师和研究生们所付出的辛勤劳动。同时，我还要借此机会感谢国务院科技领导小组、国家科技部、教育部、自然科学基金委长期以来对脑与认知神经科学方面基础研究和应用研究的大力支持。

我希望本套译丛将对我国脑与学习科学的研究以及学习科学研究人员的培养有积极的启示与帮助；我也希望本套译丛将对我国的教育决策、教育研究范式的改革、课程与教学设计带来有益的启示。

董　奇

2009 年 10 月 26 日

于北京师范大学

序　言

2003年11月10日，梵蒂冈教皇科学院（Pontifical Academy of Science）的院士们在罗马会聚一堂，庆祝林琴科学院（教皇科学院前身）400周年诞辰。教皇约翰·保罗二世在这一天向与会成员致辞。在谈及“心理、脑与教育”为议题的研讨会（这是本书的内容来源）时，教皇在其致辞中说道：

> 科学家们在对人类心智的研究中感受到了精神维度的奥秘，它超越了脑的生理并且似乎在引导着我们作为自由与自主的人类的所有活动，使我们有能力承担责任，并且富有爱心与尊严。这体现在诸位决定将你们的研究扩展到学习和教育这类人类所独有的活动中。

我们将永远铭记教皇对这项研究工作的支持，在这项极富挑战的工作中，认知神经科学研究者辛勤地耕耘在最为人道和博爱的教育领域中。

2003年11月7—8日，在梵蒂冈隆重召开的以“心理、脑与教育”为议题的研讨会上，许多杰出的学者受邀参与学术讨论。本书的编者为能将众学者的智慧结晶呈现给广大读者而感到荣幸之至。我们将与会学者所展示的学术文献汇总编撰并整理成册，而本书所面向的读者并不仅仅是专业人员，更包括广大的教育者和教师群体。我们诚挚地感谢所有作者为此书所作出的努力，因为他们在科学会议的严谨进程之外还要完成额外的工作。我们能有机会以此书来分享教皇科学院周年庆典盛会的成果的确是极大的荣誉。因为在此次盛会上，共有两个研讨主题，另一个研讨议题是“干细胞技术及其他创新疗法”。这一议题与我们的“心理、脑与教育”相契合，均代表新世纪的科学前沿。

我们此次研讨会的与会成员包括多个国家的科学院主席、世界各地的贵宾以及教皇科学院的所有成员，大家相聚在梵蒂冈美丽花园中的文艺复兴之瑰

宝——庇护四世别墅中，展开了热烈的学术讨论。我们感谢所有的参会者，特别感谢教皇科学院主席 Nicola Cabibbo 教授、秘书长 Marcelo Sanchez Sorond 主教以及会议的名誉主席 Rita Levi-Montalcini 教授，他们慷慨而持续性的支持铸就了我们的成果。

与会者在研讨会中享有绝对的自由，因此他们所陈述的仅为个人观点。教皇科学院签署了以下的总结声明：

> 神经科学的蓬勃发展、心理学和教育学研究的繁荣以及这些研究领域之间的跨学科合作交流将使我们更好地理解学习、认知、情感和意识。尽管这一学科还处在发展的早期阶段，但其发展是不容忽视的，尤其是我们目前在儿童教育中往往还采用传统的教学方法（在某种程度上成人教育的情况也是如此)。教育是一门艺术，它需要整合有关脑和心理的知识，正像它需要整合有关社会、政治和伦理等相关知识一样；因为教育所追求的目标是高度复杂的：要将儿童培养成有责任心的、知识渊博的全面发展的成人。如今，全球化为社会带来了深刻的变革，信息技术也对人们的生活产生了深远的影响，在这种情况下，教育上的适当改变必然能够惠及亿万人的生活。此次以“心理、脑与教育”为主题的研讨会探讨了教育所面临的巨大挑战，这些挑战涉及诸多方面，包括脑发育、神经可塑性、发展心理学、语言学习、阅读以及学习与发展的动态模型。会上的讨论最终达成了以下几条结论：
>
> 1. 神经科学和认知科学能够帮助我们更好地理解学习的内在基础，该领域的研究发展迅速、前景喜人。此外，教育工作者应当参与到这项跨学科的研究中来，并且将研究成果应用到教育实践中。
>
> 2. 由于该领域研究的复杂性，我们必须严谨慎重，避免仅根据某些新发现作出肤浅的推论，以致在教育上妄下定论，比如作出诸如“基于脑的学校”的断言。
>
> 3. 尽管有错误存在，但在很多研究领域已有充分的理论知识能证明某些事件会影响学习，如睡眠的需要、算术、阅读能力和双语学习，这些研究应得到足够的重视。同时，我们应充分尊重脑、心理、意识与自我之间的联系，将研究建立在伦理道德的基础之上，以捍卫人的尊严并且促进平等。这样做可以为人们提供丰富的机会，使他们能更好地展现自我、展现个人发展状态及其成就潜力。

我们向为此书作出杰出贡献的许多同事和朋友表示诚挚的谢意：感谢Sarah Caro的远见和慷慨，她曾负责多本致力于心理、脑与教育这一新兴领域的书籍的编撰工作，这些书均由出版本书的剑桥大学出版社出版。同样向她的继任者Andrew Peart及其团队表示感谢，他们接替了Sarah的艰巨任务。此外，我们也向两位合作伙伴致以由衷的谢意，他们是来自马萨诸塞州剑桥市的Mary Kiesling和来自阿根廷首府布宜诺斯艾利斯的Percival J. Denham，他们的工作使大量的电子邮件往来和文件的交流更加便利，而且他们以精湛的计算机技术完善了本书的编排。同时，我们也感谢哈佛大学教育学院发起的“心理、脑与教育”研究行动，感谢参与学习“大脑的教育”课程（由Battro与Fischer两位教授于2002年至2003年开设的课程）的哈佛学子们，是他们为本书命名并且协助我们筹备教皇科学院周年庆典上的此次研讨会。我们将最诚挚的感谢献给本次会议的资金支持者：梵蒂冈教皇科学院与哈佛大学教育学院。

最后，我们将衷心的谢意献给在本次梵蒂冈教皇科学院会议上成立的“国际心理、脑与教育协会”（IMBES）。同时也感谢位于西西里岛艾利斯镇的Ettore埃托里·马约拉纳科学文化中心和该中心的主席Antonino Zichichi，在这个中心的会议（2005年7月）上我们有幸邀请到本书的多位作者开设了一门课程，课程的名称同样是“大脑的教育”。与会的年轻学者们意气风发，正预示着一个新学科的光明未来，这个新学科从生物科学、认知科学和教育科学的连接中应运而生，也必将带来更丰富的知识并提升教育实践水平。

安东尼奥·M. 巴特罗
库尔特·W. 费希尔
皮埃尔·J. 莱纳

目 录

前　言

走向新的教育教学方法

Rita Levi-Montalcini

过去的几个世纪，尤其是从文艺复兴时期至今，科学的迅猛发展并没有给教育体系带来本质上的改变，教育体系亟待与时俱进。过去的几百年中，我们对脑结构和功能的认识过于贫乏，而脑的结构和功能又潜移默化地影响着人在出生后的认知能力，因此这种缺失阻碍了我们建立更好的教育实践体系。然而在20世纪，发生了两件对全社会乃至全人类都有极重要意义的大事：首先，我们对脑这个器官活动的了解，尽管还不完善，但在逐渐发展；其次，最近计算机系统的迅猛发展，已经彻底改变了当代社会中的个体生活方式。

新千年伊始，全球范围内，生活方式的改变急需教育教学系统的相应变革。这项变革势在必行，并且要贯穿于受教育者的幼年期、青春期和青少年时期，以使学生充分地利用计算机科学。今天儿童所形成的态度决定了明天的社会成员。

当前的教育体系仍然深受维多利亚时期观点的影响，即儿童与小狗一样只是惩罚或奖励的接受者。那么从脑的角度考虑，儿童与小狗之间存在怎样的差异？儿童和小狗的脑都发育出古脑皮层结构即边缘系统，在这方面二者没有本质的区别。边缘系统是人类行为过程具备情绪性、情感性及侵略性功能的基础。亿万年来从哺乳动物进化到现代人，身体形态上发生了巨大的变化，而这一系统却几乎没有改变。

儿童的脑与其他哺乳动物的幼崽相比，发育相对缓慢。因此人类在成熟期更加依赖于父母或教育者，这个成熟期时间跨度很大，从出生到青春期甚至更加年长的阶段。人类的脑是如此精密复杂，其长时间的发育在某种程度上是必

然的。尽管脑官能的缓慢成熟有利于现代人脑的发育完善，但是人类对父母或抚养者长时间的依赖会给神经结构留下永久性的印迹，而这会影响一个人在从不谙世事的儿童成长为社会的一分子这一过程中的很多行为。

在儿童成长的最初几年，向他们传递一些信息至关重要，因为某些信息会对其塑造世界观产生深刻的影响。正是在这个阶段，成人以其自身所处的部落或社会群体的宗教或政治价值体系从根本上影响着儿童。无论人们对“差异”如何定义，在幼年时被灌输的对“差异”的厌恶会导致某些悲惨的后果，例如种族残杀和战争，而这些斗争在今天仍然血洗着全球。人类在幼年时期接受的关于宗教或政治的信仰教育会深深影响他们未来人格和行为的发展。然而儿童的认知发展则完全不同，它起源于脑的新皮质。与古皮质或边缘系统不同，新皮质由于皮层的沟回折叠能达到极其精巧复杂的程度，因此使神经网络的增长和重组成为可能。

在小学阶段，儿童们学习社会关系的初级规则，在短短几个月中他们要经历人类祖先在千百年来所走过的历程。远古的先辈发明了强大的符号交流工具，在漫长的时间长河中逐渐演化成现在的口头及书面语言。正因为有了这个伟大的发明，人类个体之间信息交流的可能性成百倍地增长，这种交流存在于个体之间、个体与群体之间，甚至是过去的人与当代的人之间，以及当代的人和未来的人之间。

最近的研究发现，在儿童脑中认知能力已经开始起作用了，而且其作用比我们过去所认识到的要强烈得多。这样说有什么依据吗？首先，新一代的儿童显示出一种让人意想不到并且是浑然天成的倾向，他们善于使用信息系统，如计算机；而在过去，儿童使用的是形式逻辑的方法。

信息技术的变革展现出现代儿童及青少年的令人难以置信的卓越才能，这种才能不仅体现为他们对信息的接收能力（在过去，人们普遍认为只有成熟的脑才具备这种能力），还体现为他们能够迅速利用信息，在这方面甚至超越了成人。儿童使用计算机时表现出令人惊叹的技能和极大的热情，而且儿童首次接触这些科技的平均年龄越来越小。

今天教育教学系统中的必要任务并不是通过传统的教科书向儿童或青少年灌输知识，而是要让他们意识到自己的才能并帮助他们驾驭这些才能，以实现将被动的信息记忆过程转化为直接体验的主动学习状态。主动学习状态来源于人类从出生开始就迅速发育的皮层回路，而且受到外部环境的信息刺激。

新型教育教学理论的著名支持者 Seymour Papert 主张，儿童应该以“主动创造者”而不是“被动消费者”的身份得到认同（Papert，1992）。然而，如

何做才能发起这样一种彻底改变教育教学系统的变革呢？

我认为人类在个体发育的初期阶段使用电脑能刺激创造性才能的发挥。提到创造性才能，不得不提数学学习。在低年级时，数学是一门不太受欢迎的学科。以我的个人观点来看，以传统方法教授数学不仅很难使学生学好，而且几乎毫无用处，因为儿童们不能在他们的实际生活中运用所学的数学知识。

在与儿童共同参与制作的诸如视频游戏或计算机控制程序等电脑程序的过程中，Papert 先生研制出了一款名为 LOGO 的程序，这个程序能够让儿童用电脑在音乐、艺术、游戏等领域开展创造性活动（Papert，1980）。事实证明孩子们在这种实践之中比在传统的学校教学方法下学得更快更好。

从位于意大利 Reggio Emilia 的戴安娜（Diana）小学得到的研究结果很好地证实了学习早成现象。这项研究不仅在欧洲得到广泛认同，而且在《让学习可视化》一文中被描述为哈佛大学“零点计划”（Project Zero）的模型项目。该文论述了学习中的方法论和相关技术，以及最终达成的在教师的关爱下进行的儿童自主学习（Project Zero，2001）。教师背负着神圣的职责，他们支持孩子，并帮助他们成长为独立的人；他们引导学生，而在这个过程中共同学习新的知识。

很多学者撰文指出，正是由于计算机和新型教学法的优越性，我们才有了新的学习体验。通过阅读课本进行学习的方法正在逐渐衰落，因为由此获取的知识很容易被遗忘而又缺乏及时的巩固。而相比之下，通过使用电脑和主动学习所获得的知识能被更牢固地记住。

正如 CreaNET（见 Laboratory for Educational Research，Florence University）的主席 Paolo Manzeli 所倡导的：新的教学体系不应该以“教师、课本、学生”三者为基础，而要以专业能力为基础，发展创新型的学习模式，将学习建立在那些在开放环境之中发展起来的教育项目之上。

我们应该设想一种新型的学校，一种完全不同的学校。我们所要做的不仅仅是替换现有的学习项目，而且要改变教学方法。在美国，这种教学方法的改革已经开展起来，并且取得了相应的成果。这种新的教育教学系统与学校、研究中心及社会的联合形成了一种“互动”的局势，这对我们达到欧洲社会所要求的共同体目标有重要的意义。

这场文化上的革命必定会迎来支持，也会遭到反对，让我们拭目以待。如今，我们已经能够看到数学家、教育家 Papert 先生曾指出的一个有趣现象：相对于在很多以守旧倾向为特点的发达国家中，信息技术在所谓的发展中国家中更容易被采纳及应用，这些新技术在教育等不同领域的舞台上展现其价值。而

且，新技术的发展过程是不可逆的，而教育教学系统的改革也势在必行。我们的目标是使新的一代成为世界生活大舞台上的演员而不是观众。

参考文献

Papert, S. (1979). *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.

(1992). *The Childern's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*. New York: Basic Books.

(1996). *The Connected Family: Bridging the Digital Generation Gap*. New York: Basic Books. www. ConnectedFamily. com/.

Project Zero and Reggio Children (2001). *Making Learning Visible: Children as Individual and Group Learners*. Contributors: Claudia Giudici; Carla Rinaldi; Mara Krechevsky; Paola Barchi; Howard Gardner; Tiziana Filippini; Paola Strozzi; Laura Rubizzi; Amelia Gambetti; Paola Cagliari; Vea vecchi; Giovanni Piazza; Angela Barozzi; Ben Mardell; Steve Seidel. Cambridge, MA: Reggio Emilia, Italy: Reggio Children, International Center for the Defense and Promotion of the Rights and Potential of all Children www. pz. harvard. edu/Research/MLV. htm.

creaNet *Laboratory for Educational Research. Florence University EGO-CreaNet Association, Telematic Network*. www. thinkquest. it/egocreanet/stating. html.

第一部分

脑、心理与教育三位一体

第一章

引论：理论和实践中的心理、脑和教育

Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer, Pierre F. Léna

当昆虫学家追逐色彩鲜艳的蝴蝶时，我沉心于大脑灰质的花园之中。在这所花园中，那些结构精致的细胞就是人类灵魂幻化出的神秘蝴蝶，它们扇动着灵巧的翅膀翩翩起舞，定会在某一天揭开人类精神世界的奥秘。

Santiago Ramón y Cajal（Recuerdos de mi vida, 1981）

许多科学家和教育家都认为我们正在逐步推进一条整合心理、脑与教育（MBE）的新途径。这种信心逐渐高涨起来，在某种程度上是由于认知科学、神经生物学和教育学的相关学科在过去的 20 年中取得了长足进步，而这些不同学科领域的学者们也开始相互寻求合作（Fisher, Bernstein, & Immordino-Yang, 2006）。此外，由于全球化社会中信息交流程度的增强，这些学科的整合性也被大大提升了。正如 Rita Levi-Montalcini 女士在本书序言中所述，全球的“数字化环境”是承前启后的新现象（Battro, 2004）。在我们所处的这个时代中，教育改革能够迅速惠及亿万人的生活，我们应该为此感到庆幸。这个机遇为我们展开了一幅全新的画卷——在脑、心理与教育这一新兴的跨学科领域中，我们能够促进不同国籍、不同种族及不同宗教信仰的科学家、教师及学生们的共同合作（Léna, 2002, & Koizumi, 本书）。

这项跨学科领域的名称就是神经教育学（Bruer, 本书）。这一名字强调了以教育为核心的跨学科整合。另外一个名称是教育神经科学，它的核心是整合了教育的神经科学。而我们使用“心理、脑和教育”这一名称，把这两个核心以及其他可以整合认知科学、生物学和教育学的学科统统包括进来。一方

面，这一新兴的领域触及了现代神经科学的各个层次：从分子到基因，从突触到人工神经网络，从反射到行为，从动物研究到人类脑成像研究（Dawson & Fischer，1994）。另一方面，“教育”这一术语已经和人类文化本身一样博大。4 因为在全球化的进程下，如此多不同的文化、语言和信仰交织起来，使得心理、脑和教育这一领域变得愈加复杂和多样化。

毫无疑问，教育绝非仅仅涉及神经科学，还涉及脑科学和生物学，这两门科学都能给教育过程和方法带来不少启示。比如，新的脑成像和 DNA 分析技术已使背后隐藏着的脑和基因加工渐渐显露。在一些新的案例中，科学家和教育家似乎也能够观察到教育干预对脑加工和基因表达所产生的作用。这些重要的进展已经激发了来自全社会的极大热情和日益期盼，甚至由于生物学在最近数十年里的诸多突破性进展，全社会对生物学已经达到了痴迷的程度。这种极大的期盼尽管有些不切实际，但这反映出我们迫切需要促进教育发展来应对 21 世纪复杂多变的新环境。在这个新环境中，信息与人口呈几何级数增长，全球化与交流使世界日益变小。

教育领域需要重大变革的需求十分迫切。早在 2001 年 11 月，罗马教皇科学院主持召开的以“科学的挑战——21 世纪的教育”为主题的学术讨论会中，就已提出基础教育中的科学议题：如今，无论经济发展处于何种阶段的国家，几乎都存在科技水平和民众科学素养之间差距日益增大的问题。那么，世界应该如何应对这一问题？20 世纪科技革命的巨大成功再次向教育提出了重要的新问题。而这一早期的学术研讨会及其提出的问题，为 2003 年 11 月召开的“心理、脑和教育”研讨会铺设了平台，由此而产生了这本书。

科学教育和知识差距这一议题对民主和公平十分重要，因此亟待在教育实践方面进行改革。但要在这样的探险中取得成功，并没有任何神奇的秘诀可寻。而且，许多国家正在开展持续性的成功实验，从美国到巴西，从智利、阿根廷到法国，而这些实验常常是由各国科学院发起的。所有这些实验都试图将提问的权利归还给孩子，并试图通过积极的态度、语言对话和以观察探究的方式直接与大自然接触来激发孩子的好奇心。这些实验还要进一步借鉴脑发育、刺激和动机的作用以及学习和记忆的关系等方面的知识。特别有趣的是 2—6 岁的童年早期，认知心理学的最新研究发现，学龄童在这么小的年龄就能像 5 “科学家”一样对这个世界进行探索和实验了（参见 Léna，2002）。

“心理、脑和教育”的发展需要研究者和实践者的精诚合作，需要他们共同为调查和研究作出贡献。其实，研究证据能启发教育实践，而教育观察也能为研究提出有价值的实际问题。我们的第一本书，由剑桥大学出版的《阅读

障碍的心理、脑和教育整合研究》（*Mind*, *Brain*, *and Education in Reading Disorders*），其核心问题就是要整合那些有关学习困难儿童的研究和实践。而不久前的第二本书则主要强调了最好的科学研究就是那些能整合生物学、认知科学和教育学的研究。我们现阶段正在筹备的第三本书《心理、脑和教育整合的有用知识》（*Usable Knowledge in Mind*, *Brain*, *and Education*），意在促进科学家和教育者之间的有效对话，以期生成可以直接启发教育实践的知识。这将是这一新兴领域面临的一项长期挑战。

我们所预想的既不是一个包罗万象的新范式，也不是对毫不相关的研究成果进行简单的拼接。而是我们将会看到许多不同的科学动向不断显露出来，最终形成一个新的知识网络。在这个过程中，一个部分并不会吞并另一部分。相反，按照我们的预计，将会出现一个不断增长的良性的知识有机体，它将伴随着系统内外各子成分之间的各种链接及其功能的日渐繁盛。这将是有着明确目标、可行性计划、强烈冒险意识和道德责任的众多团队协同努力的结果。本书正是试图描述这种日渐增长的国际性跨学科趋势。

本书的计划

本书由三部分构成。第一部分将为心理、脑和教育这一新兴的跨学科领域提供历史的、认识论和方法论的框架。第二部分的核心是神经科学与学习及教育的整合研究，包括基于生物学的脑与认知发展的动态研究方法（尤其是脑成像技术）对研究与实践的影响。第三部分将回顾脑加工语言和数学方面的研究，这些领域已取得大量的科学成果。我们希望在不远的将来，能将这些成果与教育实践结合起来。

我们很荣幸地邀请到了 Rita Levi-Montalcini 女士为本书作序。Rita Levi-Montalcini 女士是教皇科学院“心理、脑和教育”大会的名誉主席，因发现“神经生长因子”（Nerve Growth Factor）而获诺贝尔奖，是当今神经科学领域的领军人物。她强调，人脑的缓慢成熟和人类新皮质的急剧发展，与儿童对父母和老师的长期依赖有关。这一缓慢、长久的发展与学习期，给孩子正在发育着的神经结构打下了永恒的烙印。而且研究者还发现，婴儿脑中已发挥作用的认知能力，比我们过去想象的还要大。这些发现使早期教育的重要性愈加明显。目前，幼儿能够接触到信息技术，他们开始积极有效地利用这些技术，并能轻松地应对。可见，人类神奇的认知能力和新信息的繁荣发展都急需一场教育上的革命。正如 Levi-Montalcini 所说，毫无疑问，在这一全球性的生活舞台

6

上，我们需要下一代以演员而非观众的身份登场。

第一部分　脑、心理和教育三位一体

在本部分中，作者分析了在形成一门融汇心理、脑和教育的超学科领域的过程中所存在的重大议题、优势和障碍。这涉及探究人类本质的历史性框架，对人脑和行为的相关知识所进行的认识论分析，以及在研究和实践中促进“心理、脑和行为”这一学科发展的方法论途径。

在“对脑和自我的历史性思考”一章中，柏林马普研究所（Max Planck Institute）的一位杰出心理史学家 Fernando Vidal 描述了从将脑当作“灵魂所在地”到当作“自我的器官”所经历的历史性转变。为了说明“自我的器官”这一概念，他创造了一个术语“脑格”（brainhood）。这一意义重大的概念转变始于 18 世纪，那时人类已经开始将脑当作是自我的唯一一个重要的器官。的确，生物和医学，尤其是神经科学近年来的发展愈加强化了“脑主体”（cerebral subject）（即基于脑的人）这一概念。当今，很多和这一概念相关的经典之谜（思维实验，或哲学性的脑科幻小说，比如脑移植、额外备份有机体等）仍用于对人类身份的讨论，而且这一概念还具有广泛的实践意义和道德内涵，如医学实践中的“脑死亡”（brain-death）。Vidal 创造出新术语“脑格”，正是为了确定“脑存在的条件”，即“人和脑共存亡”（human being as brain），而这一术语同时也为我们展现了一个广阔的人类学和社会学图景，它定会以某种我们今天尚不可预知的方式影响未来的教育。同时，“脑格”这一概念也激发了一些艺术家的创作灵感，正如本章标志性的图画 Helen Chadwick 的自画像——两只手小心翼翼地托着脑。最为重要的是，这一概念对教育伦理的影响十分重大，因此要求我们认真考虑那些可能存在争议的观察、实验，甚至对学生所作的“无创性”脑干预和测评。同时，像日本神经伦理委员会这样的组织将会帮助人类社会阐明人性（humanity）这一概念的内涵（参见 Koizumi）。

7

哲学家、麦克唐纳基金会主席 John Bruer，是美国乃至全世界有关认知神经科学和教育学早期研究领域举足轻重的一个人物。在“搭建神经教育学的桥梁”这章中，他尖锐地批评了在教育实践和政策中运用认知神经科学的研究成果的方式。其中一个典型的误用与教育工作者中广为流传的一种观点有关，即视觉系统的关键期是解释认知发展和终身学习的最佳模型，Bruer 证明这一论断从根本上是错误的。除此之外，我们所认为的需要通过加快脑新陈代谢和提高突触密度来学习新的概念和技能这一常识，也和设置了控制组的实验

结果不一致。正如 Bruer 所说，“过分依赖于发展性神经生物学，将会对教与学产生误导。”我们应该采用更宽广的方法来看待学习，这种观点强调某一特定领域的早期经验更重要，而不是所谓的生理上的“机会窗”（window of opportunity）或关键期。

Bruer 的分析所得出的观点是，神经生物学可以通过阐明有关学与教的认知科学研究来与教育建立联系。他论证说，神经生物学研究并不直接带来对教育的更好理解。他以数学为例作了说明，数学中诸如“正确的起点”（RightStart）等方案在数学教学中已产生了极好的效果，尤其对风险儿童更是如此（Griffin, Case, & Siegler, 1994），这些认知结果和概念反过来促进了 Stanislas Dehaene 及其同事们（Dehaene，本书）对数字概念（数字词，阿拉伯数字，和近似值）的多种皮层表征进行神经科学研究。神经科学研究和认知研究共同阐明了数学技能的教育途径，但他认为，单独的神经科学研究并不会与教育建立联系。同样，在研究语言和阅读技能的习得时，似乎再次证实了从神经科学到认知科学再到教育的联系（Dehaene, Goswami, Petitto, & Wolf，本书）。因此，Bruer 得出结论，我们需要精进神经教育学的研究策略，以将神经科学和认知科学联系起来，他还呼吁在认知神经科学的基础研究和教育实践之间建立起越来越多的循环互动交流。

8

自我意识和脑是当代哲学、神经科学和教育学共同关注的核心。康斯坦茨大学哲学和科学理论中心主任兼哲学系教授、心理/脑问题知名专家 Jurgen Mittelstrass 批判性地分析了一元论和二元论的不同概念架构。他在“哲学中压倒一切的二元论研究项目”和“自然科学（包括科学导向的心理学）中压倒一切的一元论研究项目”之间，提出了一个建构性的媒介。他在所谓的“心身问题”（career of mind-body problem）中引进了“实用主义二元论”（pragmatical dualism）这一模型。他还为有解释价值的独立的心理学（认知）概念辩护，驳斥了神经还原主义（neuro-reductionism）的狭隘观点。也许，这个实用主义模型有助于我们将现代认知神经科学中最前沿的理论术语引入到教育实践中，而不用对这些术语的含义作出本体论式的陈述。同时，我们还需要哲学批判主义的帮助，以建立一个诸如“心理、脑和教育”这样的新领域。经过严格、缜密的哲学性分析和综合，可以避免很多错误和简单化。但是，神经科学、认知科学和教育学中介绍的很多概念，在哲学史上仍是崭新的，仍有待进一步的谨慎验证。

新概念和新技术预示着新研究方法论的使用。心理、脑和教育整合成一个密切联系的新领域后，也就需要对很多思维习惯和传统标准进行深入改变，以

求在这个生物学时代拓宽心理学和教育学的研究视野。脑本身是非常复杂的器官，不能只用常规的智力工具进行研究。第一，仅传统的线性分析（此技术主导着行为研究和认知研究）无法获知脑的复杂性，因为整体比部分之和要大得多。脑中联结的数量是庞大的，而在不同的时间标尺中各部分之间联结的数量更是无比庞大。在科学工具箱的所有工具中，只有动态系统理论（dynamic systems theory）才有可能获知这些部分是怎样构成这一不寻常的器官的。第二，心智/脑、身体和世界都是十分复杂的系统，并处于永久的交互作用中。

9 在本书中，格罗宁根大学心理学教授 Paul van Geert 和他的同事 Henderien Steenbeek 概述了神经心理学的复杂性、动态系统法以及如何用神经心理学的发展来分析教育过程。他们定义了复杂系统的四种特征：（1）非线性和自组织，（2）重叠，（3）物质与进程，（4）因果关系的多层次性和多尺度性。第一个特征描述了发展中顺序与结构的增长，包括新组织的出现。第二个特征是指一种现象可以同时存在两种不协调的属性，比如学习中的基因和环境因素。系统动力常包括矛盾的或不协调的进程。第三个特征是指同一现象的不同分析水平是怎样和其表面性质（如一个稳定的物质或一个可变的进程）联系起来的。比如，像踢球这样的个人技能，在其长期稳定的维度上可以被当作物质，但它同时也涉及了进程，因为在短期内，它会随着练习、疲劳、球的性质、构建的环境等因素的变化而发生内在变化。第四个特征，人类从个体到种族的各层次均以不同的层级组织起来，如人、团体、社会和文化。这种层次也发生在时间层面上，如微观发展、个体发育（宏观发展的）、历史和进化等层面。正如作者所说，它们均以“交互式的因果关系”相互作用。

将复杂系统概念化的现实意义是，随着系统的与时俱进，测量需能相应地捕捉到系统的内在丰富性。不充分的测量会错误地表征系统，使其好像是静止的。比如，即使我们能辨认出某一特定的心理活动（如阅读）所激发的脑区，但仍不能说我们知道阅读是什么了。用作者的话来说，“脑科学知识为解决复杂难题增砖添瓦，因此有益于解决难题，（但）它终究不能代替难题的真实状况。”

Van Geert 和 Steenbeek 对不同领导阶层的儿童互动方式的研究，则很好地证明了这些模型的预测力。同时还有很多其他例证，也都可以用复杂的分析预测多样化的现象，包括量的守恒（在皮亚杰理论中）、稳定阶段、波动的技能、学习或发展的倒 U 形曲线以及回归等新概念的突然涌现。这些方法论上的思考对教育学来说十分重要，也应该得到 21 世纪的教育者的重视。

第二部分　脑发育、认知与教育

10

科学中的重大挑战之一，就是在基础研究和日常生活之间建立联系。现代社会的成功和这种事业密不可分，教育的成功也同样如此。通过电脑和通信技术，重大的变化已深入到学习和教学的方方面面，同时这种变化也理所当然会将脑包含进去（Battro，2002）。我们期待，教育的下一个前沿领域将来源于认知科学和脑科学方面的技术。

与技术带来的社会变化相伴随的是对知识加工脑机制的了解所带来的认识论上的变化。Wolf Singer 以一个脑科学家的视角陈述了这一观点："搜寻知识的来源，等同于搜寻脑功能建构的修饰和完善过程。"用神经生物学和遗传学来解释学习和思维，这项科学研究已带来了概念上的根本变化，而在几十年前，只有少数教育者才能想象出这种变化。现在的科学家正在利用神经生物学中一些有效的工具来追踪知识的来源，同时也在分析遗传学和发育遗传学之间的关系、种系发育和个体发育之间的关系以及在整个人生中不同的学习和记忆水平之间的关系。

这正是世界上成千上万的天才科学家正在进行的基础研究，目前它和教育领域的关系还不甚明了。比如，新的认知神经科学领域中最重要的一本手册（Gazzaniga，2003）甚至在索引中都未提到"教育"这一术语，但却多次引用"学习"这一术语。这一遗漏也许尚不能说明那些优秀的作者本身缺乏对教育的兴趣，但它至少告诉我们，存在一个有待填补的科学鸿沟、一块有待探索的新领域。而要填补这一鸿沟，则要在实验室及其严格、传统的学习模式之外进行。对神经科学家来说，这种新的"学习场所"便是教室！在学校丰富的学习和教学环境中，认知神经科学才能渐渐成长，才能提出更深、更有用、更有意义的问题。

在本部分的第一章，法兰克福马普脑科学研究所主任 Wolf Singer 提出了两个具体的议题，理论者和实践者可以通过这些议题来填补基础认知科学和教育实践之间的空白。这两个议题是：视觉关键期与婴儿日托中心的睡眠时间。[后者也和本书中 Daniel Cardinali 所撰写的"时间教育学"（chronoeducation）一章有关]。通过对动物和婴儿研究的探讨，他为我们呈现了睡眠和觉醒的复杂顺序及它们在发展中的重要作用：记忆巩固和促进学习。谈到关键期，Singer 依据大量动物模式得到的经验，特别是在视觉系统上得到的经验，分析出一个准则，即"共同活动的神经元，就是紧密相连的神经元"。在这种神经

11

同步模式中，神经回路经受了功能性的考验，在这种考验中，这些联结在此后的生命中或者被巩固，或者被移除。当发展窗关闭后，神经元似乎不再产生新的突触，现有的联结也不再被移除。一个极端的例子是视觉输入的“感觉剥夺”：早期发展中因眼睛遭受感染而未在皮层水平发展起相应视觉回路的婴儿，即使后来视网膜功能正常，也仍会保持功能性失明。

同时，正如 Bruer 在自己那一章以及其他地方所说，脑并不像表面上看起来那样不可更改，它通常具有足够的可塑性（Neville & Bruer，2001）。Singer 提到的一个有研究前景的现象是，就连成人的脑都能在海马和嗅球处产生新的神经元和联结，也许在皮层的其他部分也能产生（Gage，2003）。当然，这些事实不能直接转化为教育方案，但是随着从事教育基础研究的科学家日益增多，也许就会发现这些事实和教育的关系。我们仍需要教师和认知科学家的齐心协力，以把握实验室还未探索到的那些重要的教育特征。我们希望下一代在认知科学与教育学及教育学与认知科学之间建立动态的循环联系，这一举措将会显著地影响到与教育相关的观点和发现。

现在已有一个议题形成了这种良性循环，即时间教育学。布宜诺斯艾利斯大学医学院生理学系主任 Daniel Cardinali 便是这一领域的世界领先者，他在自己那一章中解释了生物钟是怎样影响学习过程和教育过程的。首先，他描述了身体所有细胞 24 小时的昼夜节律，这种昼夜节律对定时器（基因—蛋白质—基因反馈环路中所描写的生物钟）所产生的信号进行反应。对哺乳动物来说，主要的生理节律振荡器位于丘脑下部的视交叉上核（SCN），它像计时器一样工作。其中归化因子（授时因子）能重新设置或调整（调快或调慢）内部生物钟的时间。比如，在夜间前半部分暴露在光下能延缓时间进度，而在后半部分却会加快时间进度。相反，“夜间内生的密码”褪黑色素（松果体产生的一种荷尔蒙）在夜间前半部分会使时间提前，在后半部分则会使时间延后。而最显而易见的生理循环就是睡眠—觉醒节律。这种节律从童年到成人发生了巨大的变化，从婴儿每天 14—16 个小时的睡眠时间减少到青少年每天 8 小时的睡眠时间。

12

对生命至关重要的睡眠被分为两种状态：快速眼动睡眠（REM）和非快速眼动睡眠（NREM），并以 90—100 分钟的周期循环轮替。一个 75 岁的人其实已花了 19 年的时间在非快速眼动睡眠上，花了 6 年的时间在快速眼动睡眠上。其中非快速眼动睡眠状态能保护细胞，促进细胞的合成，并能显著降低脑的新陈代谢。相反，快速眼动睡眠状态却不是内稳态的，比如不能调节体温，但它甚至比清醒时更能激活脑，而且在这一状态中会产生栩栩如生的梦境。

从教育的观点来看，吸收相关的研究成果，以在内部生物钟与警觉状态、动机、情绪、学习风格和学习能力之间建立起最佳的对应关系，是十分重要的。当今社会已变成了一个 24 小时的社会，连高中阶段的青少年也常会调整作息时间，他们睡得很晚，但必须早起上课，这时他们被剥夺了睡眠。这种调整以多种形式显著地影响了他们在学习上的表现。因此，Cardinali 建议，为适应青少年的生理周期，学生应该一直听课直到认知功能达到顶峰的晚间。其实，从生物钟的视角来看，还能引发对教育重要性的其他一些思考。

认知神经科学的重大挑战是要应对时间和空间上的多种不同尺度，从分子开始，进而转向行为以及认知和情绪。很多分析水平本身就需要被分析，以在脑科学和教育之间建立起真正的整合。有个很大的谜团是，神经网络是怎样形成的，又是怎样随着学习和认知的发展而重构的。形成读写之类的技能可能需要数年，但打开或关闭一个感受器却只需几微秒。神经元生长发育出突触，以主要在抑制和兴奋的基础上建立神经网络。神经网络的这种成长和变化是未来几年所要揭示的几大谜团之一。

皮层神经网络的生长及其与学习、教育的联系是 Kurt W. Fischer 那一章的议题，Kurt W. Fischer 是哈佛大学教育学院“心理、脑和教育”专业的发起者和责任人。他开创了第一个对生物学、认知科学和教育学系统进行广泛整合的学术性培养方案。他和 Antonio M. Battro，Juliana Pare-Blagoev 及其他同事一起，在教皇科学院的工作会议上发起了“国际心理、脑和教育协会”（International Mind，Brain and Education Society，IMBES），并任主席。在心理、脑和教育之间建立起新的联系，急需对这三个领域都熟悉的研究者和实践者，只有这样才能在积极合作中将研究和教育实践整合起来。

13

一个既有可能性又有制约性的例子是，研究发现，认知发展模式和脑发育模式之间有明显的对应关系（Fischer & Rose，1994）。从出生到二十五六岁，每隔一个特定的年龄段，儿童和青少年的最佳认知表现总会有一个明显的突增，量表测得的参数特征会以相似的节点显示出攀升和间断。而相应年龄的皮层活动，则在多种参数特征（包括 EEG 中的能量和整合性）上也出现了激增和其他形式的非连续性，甚至皮层解剖特征也表现出相应的变化。这些趋于一致的证据共同汇成了一个发展性量表，可以用它在一个共同的尺度下评估学生的学习、课堂材料和教师教学（Dawson & Stein，出版中）。

不幸的是，脑生长可能突然加快这一发现有时会由于过分简化和没有证据支持的概念性跳跃而导致对教育实践的虚假建议。比如，当脑还未表现出激增（这种激增丝毫未被学习方面的证据支持）时，学生们便不能学会任何新知

识，这一观点已引发争论。要想在心理、脑和教育领域中建构有用的知识，关键并不是简单地使用神经科学的证据，而是积极地研究脑同学习和行为之间的关系。在未直接研究儿童在学校和日常生活中的学习方式（包括学习怎样与脑功能相联系）的情况下，人们不应该从脑的研究发现直接跳跃到新的教育模式。

俄勒冈大学教授 Michael I. Posner 与 Mary K. Rothbart 和 M. Rosario Rueda 合写的一章，则为我们提供了一个了解神经网络的途径：我们现在能用脑成像工具来观察脑的活动，“在人们思考时观察人脑的内部”。Posner 是神经成像和认知领域的开拓者之一，他和同事们曾对基因和经验在学龄前儿童注意网络的发展中的作用提出了重要论证。这一神经网络在前扣带回有一个重要的节点，此神经网络还对校内外生活中新认知、情感和社会技能的获得至关重要。广泛的研究已能辨认出这一注意网络的三种功能：警觉、定向和执行控制。

14

当然，既然学生在任务中必须维持注意，那么注意对学校学习来说无疑是十分重要的；但是集中注意的能力对不同的人和不同的任务来说差异很大。问题是，注意在多大程度上是可以遗传的，这一问题可以通过同卵双生子和异卵双生子研究中专门的注意测试得到解答。数据结果支持了基因在执行注意网络中的重要作用。而在另一个实验中，与多巴胺有关的两个等位基因则在前扣带回产生了不同程度的激活。还有一个问题是，人类能在多大程度上增强脑中注意网络的功能。教师们十分清楚，能在教室里（甚至在人生中）长时间地集中注意力、应对冲突或不确定性以及克制寻求即时报酬的欲望，是十分可贵的。发展出这种能力往往需要数年，但是 Posner 和同事们对只有 4 岁的儿童进行特殊注意训练后，却发现了鼓舞人心的结果，而皮层活动和在学校的表现都可以证明这一结果。在注意缺陷和自闭症儿童身上也可以得到类似的结果。作者希望这一注意训练技术能对学龄前儿童发挥作用，能为其提供一种掌握课程知识的“脑支持”。这种可靠的科学证据对构建有效的实践来促进教育神经科学的发展至关重要。

脑成像技术是这一过程的主要辅助手段，但从教育的视角来看，若想在教育情境下解决大多数关于学习的问题，这些最佳技术则是不切实际的、复杂的、且昂贵的。因为它们不仅需要先进而又复杂的工具，还需要一个专家团队及策划好的情境（典型的情境是儿童必须一动不动地坐着或躺着）。这些脑成像工具的局限性意味着大多数脑成像并不能在学校里进行，而只能在实验室或医院中进行。可是，恰恰是这种在自然情境下的课堂研究，才更能影响教育。因此，我们急需一些能在学校中运用并可以在教师的帮助下进行分析的新

技术。

日本文部科学省脑科学与教育项目组负责人、日立公司的首席科学家小泉英明（Hideaki Koizumi）为我们描述了一项很有前景的新技术所取得的令人瞩目的研究成果。他和他的团队发明了光学成像技术（Optical Topography，OT），也叫近红外光谱法（near infrared spectroscopy，NIRS），即用近红外线测量各种活动中皮层的血液变化。光学成像仪精巧便携，只需在头皮上戴上一个还算舒适的光纤帽，然后坐在一个允许较大移动空间（和广泛使用的 fMRI、MEG 或 EEG 技术相比）的椅子上即可。移动和位置上的相对自由，使此方法在研究说话或运动时的脑加工与研究儿童方面具有很大的优势，而且，与其他工具相比，光学成像仪还具有无创性、低成本、低维护、较易操作的特点。也许在不久以后，光学成像仪就能被引进学校的研究中。小泉英明还列举了学生做阅读、计算、思考和想象的一些任务，这些例子都是光学成像仪能够研究的有关脑的问题。目前，光学成像仪已在脑损伤和痴呆的神经康复方面发挥了独特的作用，而小泉英明更预见到了其对学习和教育科学的应用价值，这正是他那一章的关注点。他还建议对滥用脑成像技术可能会引起的道德伦理问题进行讨论，因为脑成像技术也许“因其有可能泄露个人的心理活动而使人丧失隐私”。他强烈建议创立神经伦理委员会来解决这些问题，日本已经这样做了。

第三部分　脑、语言和数学

15

塔夫茨大学（Tufts University）阅读与语言研究中心主任、阅读障碍领域的专家 Maryanne Wolf 指出：“目前，人类在发育过程中智力改变的实质，并不是脑产生了新的结构，而是脑有一种非同寻常的潜力，即对已存在的神经回路进行重组的潜力。”阅读就是这种典型的心理重组能力，对脑的阅读加工进程了解得越多，教师和学生就能越好地应对阅读障碍（即当代一种常见的“文化病理”）一类的阅读缺陷。当然，在书面文本凸显于人类文明（这一进程大约用了几千年）之前，阅读障碍还不是个问题。Wolf 分析了楔形文字和象形文字这两种第一代文字系统及其教学法所取得的不寻常的认知成就。值得注意的是，一种先进的阅读障碍干预（Wolf 的 RAVE-O 课程）技术让我们想起了古苏美尔语中单词的多维度性质。当字母表第一次被构想出来时，像乌加里特语言一样，它只有元音。之后很久，希腊人才添加了辅音，重组了腓尼基语的脚本，因而才能以一种不寻常的方式描述出这种语言的所有音素。但古时候的阅读并非这么简单，因为单词不但没有被空格或点分开，而且单词的书写

方向从一行到另一行也会有变化。

现代字母脚本的阅读比苏美尔语要简单，但阅读中仍然隐含着相当多的认知成就。首先，儿童必须学会字形—音素这一对应规则。语音层面上的任何缺陷都会导致一种特殊形式的阅读障碍，最近几年我们已能科学地了解这种形式的阅读障碍，对大多数这类阅读障碍学生的治疗都取得了成功。但是其他形式的阅读障碍却不能单纯由语音来解释。比如，阅读需要对命名速度有影响的、独立于语音系统的快速自动加工过程。这种加工上的缺陷则需要不同的治疗方法。Wolf 的双缺陷假设（Double Deficit Hypothesis）就分辨出三种类型的阅读障碍：语音损伤的孩子、快速自动加工有缺陷的孩子及同时具有上述两种缺陷的孩子。第三组孩子在阅读流畅性和理解上都有深度缺陷，需要全面的干预来加以弥补。

16

其实，Wolf 和同事们开发的 RAVE-O 项目（Retrieval, Automaticity, Vocabulary, Engagement with Language, and Orthography）就是根据阅读速度的重要性而开发的，它很好地预测出流畅性上有缺陷的儿童将会产生阅读障碍。因为阅读流畅性要求在语言正字法、语音、语义、句法两两成分之间有充分的相互作用。这一项目的最终目标“不是儿童能读多快，而是他们能更好地理解和欣赏所读的内容”。这种干预对读写素养这一重要的话题来说，是很好的范例，可以说明阅读的认知机制和脑机制方面的知识是如何促进教学的提高的。

剑桥大学教育学院的 Usha Goswami 教授，是世界上建立心理、脑和教育连接的几所大学中的一位领军者。作为语言习得方面的专家，她比较了不同语言中的阅读，并介绍了自己的原创性研究。在如此多样的文化和语言情境中，人类用心理或脑加工特定的语言。Goswami 提到，成人文盲意识不到单词中的音素，但是儿童早在学习怎样阅读时就通过字母学会了音素。音素意识是字母类语言中的主要阅读成分，可以被当作语言的一种共性来研究。首先，在学习阅读之前，儿童就已对单词中的音节及所谓的“首音”和“韵脚”产生敏感性。如，在单词“seat”、“sweet”和“street”中，“首音”对应于前面的辅音音节（s，sw 和 str），“韵脚”对应于接下来的元音及之后的语音（s-eat，sw-eet，str-eet）。但是，“首音”和“韵脚”是语音中较大的特征，而字母却是语音流中表征“音素”的较小的抽象单位。在 Goswami 看来，对这些小的语音单位或音素的意识是阅读和书写学习的结果。这就是为什么在所有研究过的语言中，不会阅读的人在音素意识上都表现不佳，但相比较而言却较易辨别音节的原因。

17 一个重要的发现是，音素意识的学习进度和技能水平都依赖所学语言的正字法。在读和写中，儿童需要将语音系统与正字法对应起来，但不同语言的对应类型却十分不同。对儿童来说，阅读西班牙语这类正字法一致的语言要容易得多。在这类语言中，一个字母永远对应着一个独特的音素，且首音—韵脚的分割直接对应于音素的分割。而正字法复杂、不一致的语言，比如英语，则会减慢和阻碍音素意识的习得。这种差异似乎能解释为什么西班牙语学校比英语学校中患阅读障碍的儿童少。

Gswami 证实，阅读障碍者难以表征母语单词的发音形式，是由于其在音律计时上存在缺陷。Gswami 比较了阅读障碍儿童和相应无阅读障碍儿童，对他们在限定性语音节律中的节拍进行探测，并检测他们的语言技能和诱发的皮层电位，结果表明，“阅读障碍儿童的听觉系统不够成熟，而不是异常”。

多伦多大学心理学院的教授 Laura-Ann Petitto 是教育神经科学（与教育问题相关的神经科学研究）这一新兴领域的先驱。她向我们展示了用近红外光谱法（NIRS）或光学绘图法（OT）等新技术在幼童身上的发现，小泉英明在本书中介绍过这些技术。她还展示了婴儿（会说话前）在知觉语音刺激时是怎样激活神经语言组织的，从而证实了婴儿从很小的年龄起，即在能理解和表达语音之前，就开始使用脑中特异性的语言区了。理解这些皮层区在语言获得中的作用，能加深我们对语言发展的理解，也能对阅读障碍一类的语言困难进行早期预测。将 NIRS 之类的脑成像工具与行为、认知研究相结合，为教育者深入了解在学习上取得的成功及在语言等重要技能上的缺陷，提供了宝贵的机会。

我们很多次被问起“为什么脑科学研究应该与教育相关?”本书的最后一章，法国奥赛的认知神经成像课题组组长 Stanislas Dehaene，对这个问题给出了一个详尽的具有说服力的答案。他在生物学的基础上阐述了对语言和算术的理解，为解释阅读素养和数学这两种文化工具及它们在教育中的应用带来了新的启发。作为一名接受了专业培养的数学家、实验心理学家及神经成像领域的专家，Dehaene 探讨了在算术和阅读习得方面的研究成果，并最终将教育定义为一种神经元的再利用过程。18 他在普遍接受的观点（脑是一个通用的学习机器，思维是一块白板，能通过学习数字和单词之类的文化客体来填充）之外，又提出了另外一种观点。在改进了“书写单词和数字是近代文化的产物，无法在自然中找到”这一观点后，他论证说，这些文化客体与人脑进化、发展的历史相结合，有助于解释为什么人类能够学会阅读和算术。

人类基于人脑特有的能力，构建了阅读和数学文化系统。研究发现，灵长

类动物和人脑中有预先装配好的一个小的皮层区，用于探测数量特征及其他与书写符号形状有关的特征。很多物种也表现出数感，甚至人类婴儿也能表现出对数量的原型认识，这都与顶叶的基本加工（左右顶内沟）有关。对人类来说这种功能定位是稳定的，它会因此区域的损伤而形成失算症（不会做算术）。对猴子来说，特定的神经元群被用以负责 1 到 5 个视觉客体的数感（与数字 1 到 5 相联系），这些神经元群也位于顶叶的类似部位。

阅读字母和单词，会激活左腹侧视觉区的一个非常稳定的区域（枕颞沟）。对已研究过的所有语言来说，不管这些语言的阅读者是否使用拼音文字的阅读系统，这一激活形式都会发生。因此，这一区域的损伤会造成失读症（不能读）。而且，即使在最细微的形状特征上像某个字母，也会激活猴子特定的枕颞神经元。从这些趋于一致的证据上，Dehaene 推论出“只有当新文化符合脑结构（此结构限定了可习得客体的空间）的已有限制时，人类才有可能习得它。”

将生物学、认知科学与教育学结合起来，将会以同样的方式改变人类对自身、工具及文化的理解。这种新的理解不仅在心理、脑和教育方面为我们提供了更深、更精确的知识，也为我们带来了更好的学习和教学工具。本书中科学家和教育者的齐心协力，预示着世界上即将有一个庞大的科学家和教育者网络来进行广泛的研究，也见证了一个探索知识（由生物学、认知科学和教育学整合而成的新领域中的知识）的新时代即将到来。我们预计，这一新兴的领域将有助于 21 世纪学习和教学方式的深刻变革。

参考文献

Battro, A. (2002). The computer: a tool for the brain. In *The Challenges of Science: Education for the 21st Century*. Pontifical Academy of Sciences. Scripta varia. Vatican.

(2004). Digital skills, globalization and education. In M. Suárez-Orozco and D. Baolian Qin-Hilliard (eds.), *Education, Culture, and Globalization in the New Millennium*. Berkeley, CA: University of California Press.

Dawson, G. and Fischer, K. W. (1994) (eds.) *Human Behavior and the Developing Brain*. New York, NY: Guilford Press.

Dawson-Tunik, T. L. and Stein, Z. (In press). Cycles of research and application in science education. In K. W. Fischer and T. Katzir (eds.), *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Fischer, K. W., Bernstein, J. H., and Immordino, M. H. (2006). *Mind, Brain, and Education in Reading Disorders*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Fischer, K. W. and Rose, S. P. (1994). Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research. In G. Dawson and K. W. Fischer (eds.), *Human Behavior and the Developing Brain* (pp. 3–66). New York: Guilford Press.

Gage, F. H. (2003). Brain, repair yourself. *Scientific American*, 289 (3), 47–53.

Gazzaniga, M. S. (ed.) (2003). *The New Cognitive Neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press.

Griffin, S. A., Case, R., and Siegler, R. S. (1994). Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. In K. McGilly (ed.). *Classroom Lessons*, (pp. 25–50). Cambridge, MA: MIT Press.

Léna, P. J. (2002). Science education in France: La main à la pâte. *In The Challenges of Science: Education for the 21st Century.* Pontifical Academy of Sciences. Scripta varia, Vatican.

Neville, H. J. and Bruer, J. T. (2001). Language processing: How experience affects brain organization. In D. B. bailey, Jr., J. T. Bruer, F. J. Symons, and J. W. Lichtman (eds.), *Critical Thinking about Critical Periods* (pp. 151–172). Baltimore, MD: Paul H. Brookes Publishing.

Ramón y Cajal, S. (1981). *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica.* Madrid: Alianza Editorial; (1937) *Recollections of My Life.* Philadelphia: American Philosophical Society.

第二章

对脑与自我的历史性思考

Fernando Vidal

概述

本章将就有关脑与自我关系思想的历史发展脉络进行探讨，并认为，正是在过去这些进步的基础上，我们今天才有了许多将神经科学和传统的人文科学领域进行整合的计划，本书就源于这样的一个计划。事实上，正是由于这些进步提供了历史性和知识性的条件，这一整合才成为可能。这一整合既可以从还原论的角度来理解（相关的学科，例如教育与精神分析，将会经历由神经科学知识带来的彻底的革命性变化，并将依赖于神经科学的进步），也可以从合作的角度来理解（各种人类科学保留其认识论与方法论的独立，但将被神经科学知识丰富或部分地修正）。为什么神经科学看起来这么重要？除了它与每个领域的相关应用或合作关系以外，其终极原因在于神经科学向世人展示了脑这一器官乃是人之为人的根本。不过，作者认为，神经科学之所以如此重要，至少部分是由于人们这样的一种信念，即脑是唯一一个使“我”之为“我”的器官。显然，这种观点得到了神经科学的支持，但神经科学却并非其源头；恰恰相反，这种信念早在现代科学产生之前就存在了。这看起来不符合我们的直觉判断，但假如事实确实如此，那么探索其历史将有助于我们找到根源，使我们理解为何当今社会如此热衷于讨论神经科学对其他学科的影响，以及其背后隐含的各种价值与信念。

——编者

脑主体与神经科学

为了从历史的角度来阐述脑与自我的关系，我觉得有必要造两个新词："脑格"（brainhood）与"脑主体"（cerebral subject）。"脑格"一词仿"人格"（personhood）而来。因为人格一词指的是作为一个人类个体存在的一种状态或质性，我们可以用脑格来指代作为脑而存在的一种状态或质性。笔者认为，大约始于20世纪后半叶，脑格就成为定义人类属性的主流。人类于是变成了一种我们可以叫作"脑主体"的东西。从小说、电影中的科幻情节，到神经哲学、特别护理和器官移植，所有这些都使我们渐渐觉得，与其说人拥有脑，倒不如说人就是脑。当然，人类还有许多其他的属性，但是人们发现对于人类自我的存在以及个体的界定来说，脑是唯一一个不可缺少的器官，这一事实至少部分地成立。实际上，与其他任何一种器官移植与身体修补不同的是，假如A的脑被移植到了B的身体里面，我们不认为是B得到了一个新的脑（像身体中其他任何器官那样），而是认为A得到了一个新的身体。

从20世纪后半叶开始，至少在工业化的西方国家，脑主体就已经成为一个影响力巨大的人类学概念，它已经并将继续在各种个人决策与公共政策中产生极其深远的影响（例如Blank，1999）。脑主体有一个前提，脑科学史学家Michael Hagner将其称为"大脑人"（homo cerebralis）（Hagner，1999；另见Breidbach，1997a）。这一词语表现了19世纪脑所经历的变化：从灵魂之源变成了产生自我的器官。脑主体这一说法也与Jean-Pierre Changeux的"神经人"（neuronal man）说法有某些异曲同工之处，Changeux用这一说法来阐述个人身份产生的物质基础（Changeux，1983/1997）。然而脑主体这一概念是由脑格的本体属性所定义的，因此它涵盖的范围比"大脑人"或"神经人"更广。它使用了哲学、心理学和神经科学领域内外的多种多样的社会印记、具象与结晶来标示出一个人类学概念——人就是脑。就这点而言，要融合神经科学与其他人类科学，并利用关于脑科学的知识对后者进行改革，这个概念是必要的条件之一。新的这类研究计划正在不断涌现。

事实上，神经类学科的不断涌现成为当前一道亮丽的文化风景。虽然"神经"这一前缀早在17世纪就开始使用，然而我们所讨论的问题是，20世纪60年代初率先提出的"神经科学"。其他的学科也纷纷随之涌现，今天我们不但有（只举几个例子）神经儿科学、神经老人病学、神经老人学，还有神经美学、神经经济学、神经经神分析、神经伦理学、神经神学，当然，还有

22 神经教育学。不论它们将发展为独立的学科还是保持学科间交叉，这些名字本身就很有意义。虽然神经并非只存在于脑之中，但是“神经”类的新词汇倾向于单指脑。当然，神经这一前缀比“脑”和“大脑”作前缀要好听得多，而它也同时将最新的这些“神经”学科与完备、权威的神经科学联系在一起。因此它更有一种宣传效应。但宣传并不是全部：“神经”一词宣告了神经科学的发展给相关学科带来的严峻挑战与诱人机会。

与神经相关的各领域研究的是物质基础，例如神经儿科学与神经老年病学研究脑的早期与晚期发展。神经神学则研究灵性与神秘体验的神经逻辑基础（例如：Newberg，D'Aquili，& Rouse，2001）。相似地，根据其某个定义，神经美学“着力建立美学体验的生物学与神经生物学基础”；这个领域已经在伦敦学院大学拥有一个研究所，并在伯克利举办年会。（见 www.neuroesthetics.org）（而与之稍有不同的“神经元”美学，则更像是试图建立一种自然主义的美学；见 Breidbach，1997，以及 Kleeberg，2004，在 § Ⅲ对此的分析）至于神经精神分析学，它主要研究精神分析理论所描述的神经过程背后的神经学基础（参见 Kaplan-Solms & Solms，2000，以及《神经精神分析》杂志）。神经经济学恐怕是这些新领域中发展最完善的一个了（而且是唯一一个进入认知科学百科全书的领域），它是“关于实体化的脑与外界环境的交互作用如何产生经济行为的研究”，其重点是个体决策过程（McCabe，2003；Glimcher，2003；Camerer，Loewenstein，& Prelec，2003）；克莱蒙研究大学中设有一个神经经济学研究中心（http://fac.cgu.edu/~zakp/CNS/）。

对神经科学的未来具有重要作用的神经伦理学则稍有不同。当然，它探求道德行为的神经基础，但它更多地致力于研究神经科学知识及其应用的伦理、社会和法律效应（Marcus，2004；与法律相关的内容见 Garland，2004）。所有这些领域并不强调还原主义，而是强调对话、学科交叉及神经科学与其他领域的双向交互作用。虽然它们并不统一且颇有争议，但它们都显示了一种以脑为
23 中心的倾向，并对神经成像技术的贡献寄予极大希望——虽然有不少人（例如本书编者们）警告大家不可期望过高。

神经教育学也不例外。用本书编者们的话来说，尽管教育不止于其神经层面，但神经 科学“可以对它的很多需求有所启发”（Battro，Fischer，& Lena，本书）。寻求可以改进教育艺术的方法与知识实体的努力至少在文艺复兴时期就已见端倪，这种努力在 20 世纪早期卓有成效的教育运动中占有重要地位。神经教育学计划也不例外。像它的先辈们一样，它将科学进步作为其成功的首要条件；它认为认知神经科学的进步将最终为教育带来更稳固的实证基础，并

引发适当的教育改革。

值得注意的是，对于这样一种信念背后的有关科学的本质与科学史的观点，我们表述的方式与科学史学家所普遍认同的并不一致。根据他们的观点，客观性、证据和事实本身是历史性地构建的，根植于特定的环境，是智慧与制度间的协商。John T. Bruer 就给那些神经教育学的热情支持者们泼了冷水，他批评那些妄图利用简单化和毫无根据的偏侧化与关键期来连接神经科学与教育的尝试过于急功近利。这从他所写的这段话中就可见一斑："我们对脑工作方式的了解还远远不够，所以无法从突触形态的变化上来得出对教育的启示"，他的结论是："神经科学发现了很多关于神经与突触的知识，但还不足以引导教育实践"（Bruer，1997，10 and 15；另见 Bruer，1999）。

由于这个问题的复杂性，从数量的角度思考、将科学想象为连续累积性的过程是不合适的。首先，与数量本身相比，什么样的知识和技术与这个问题相关是更加重要的：就教育来说，发展神经生物学与脑成像技术的出现，为神经与神经认知的教育干预开辟了道路。与其他"神经"科学领域一样，神经教育学也拥有这样一个强烈的信念，即科学的进步会为我们提供各种问题的解决方案（或者提供找出这些解决方案的必要条件）。而神经教育学相比其他神经学科可能更加注重双向关系：神经科学家必须进入课堂中，教师也应该把他们的问题带进实验室。这是第一步，而我们将通过提出教育的目标、研究与干预的伦理、其政治与政策层面以及其对未来改革的影响等核心问题来平衡其科学话语。最终，与其他神经领域一样，神经教育学家们必须思考他们的人类学假设，思考在他们的观点中人类和社会是什么以及应该是什么。

24

神经学化趋势

各种神经科学的兴起所表现出来的这种神经学化趋势建立在对"为人"与"有脑"的关系的诸多假设上。也就是说，我们相信，要使我们是我们自己，脑（或脑的功能等价体）是唯一真正不可或缺的身体部件。在 Roald Dahl 的一部非常著名的小说中，一个叫威廉姆的人情愿使用脑剥离的方式来逃避身体的死亡。在手术之前，他请求医生保留他的视神经，并把一只眼睛留在"他"身上，以便他还可以读报纸。这是他最喜欢的事情之一。于是威廉姆以漂浮在液体中的脑的方式继续活了下去，脑上还连了一只眼球。然而，不论对威廉姆来说还是对医生来说，眼球都不是威廉姆以手术前（姑且称之为脑存活手术）完全相同的人的身份存活下去的必要条件（Dahl，1960/1979）。这

个幻想故事与一些人的真实渴望不谋而合：在利用人体冷冻术追求永生的努力中，可能由于其价格低廉，时下流行的方式是“神经保存”，也就是只保存脑而舍弃身体的其他部分（见 Alcor Life Extension Foundation，www. alcor. org?FAQs/faq02. html#neuroperservation）。

不要说那些提倡人类科学神经学化的学者们，很可能连神经保存的一些客户也不会以一种脑本体论的方式来看待自己，他们也会反对人可以被缩减为仅仅一个脑的这种想法。然而从历史的角度来说，我们所说的这一趋势产生的前提中，一个关键因素就是脑主体作为一个人类学概念的出现。据 Hagner 和 Borck 的说法（2001，507-508），神经科学与其他生命科学分支不同，原因在于它的成功“并不来源于某一技术或概念突破，也没有被源源不断的技术发展所追随、伴随或强化。”反过来说，人格的脑化（或更精确地说：皮层化）并不是神经科学进步的必然结果（Zimmer，2004，其文章明白易懂，只是在这一点上说错了）。相反，它是现代神经科学在历史上偶然出现的一个假设。在 18 世纪的发展中，脑不但变成了个人身份的居所，而且突然变成了对自我来说唯一不可或缺的身体部件——是我们成为自己的唯一必须拥有的且必须内在于自我的器官。19 世纪和 20 世纪神经学与神经科学的发展强化了这种早期观点。然后到了 20 世纪 60 年代，继承英美分析主义传统的哲学家们通过以脑为客体的思维实验讨论了个人身份，把脑手术的幻想故事变成了思考个人身份的一种不可缺少的概念工具（Ferret，1993；Noonan，1991；Perry，1975）。

这种有哲学意味的脑幻想小说的兴起在时间上与脑研究的象征性、体制性与经济性权重的不断增长相一致。在学术领域的相对发展速度上、资金的分配上以及公众眼中什么学科对人类未来影响最大这一点上，脑科学研究都越来越令人瞩目。国际脑科学研究组织（International Brain Research Organization）是被联合国教科文组织所承认的非政府组织，成立于 1960 年，其目标是推动神经科学的发展，帮助科学家进行培训与交流。1973 年它成为国际科学联盟理事会（International Council of Scientific Unions）的非正式会员，1993 年成为正式会员，自 1999 年以来每年组织神经科学学校的学习（见 www. ibro. org）。伴随着这些脑科学国际化发展的早期迹象，20 世纪晚期又出现了充满活力的学科扩展与慈善性尝试：美国政府宣布 20 世纪 90 年代为脑的十年（lcweb. loc. gov/loc/brain/），美国有两个主要的基金会已经将脑科学研究和脑研究的公众教育列为它们的工作重点。1992 年，查尔斯·达纳基金会建立了一个脑研究倡导联盟，后来又开展了每年一次的脑知识周，其目标是在公众中宣传脑科学研究的进展、前景与益处（www. dana. org）。从 2000 年开始，约翰·麦克唐

奈基金会下的 21 世纪科学行动就把“连接脑、心理与行为”作为其三个项目领域之一。Jean-Pierre Chageux（2000）宣称 21 世纪将是脑的世纪；而对诺贝尔奖得主、记忆专家 Dric R. Kandel 来说，“认知神经科学，以其对知觉、行动、记忆、语言与选择性注意的关注，将越来越能代表所有神经科学的研究焦点”（摘自 www. cogneurosociety. org/content/welcome）。

这只是一些表面上看得到的标志，它们说明了神经科学在当代科学研究的广阔天地中所占有的位置，至少在西方工业化国家是如此。他们不但涉及了从 20 世纪中叶以来科学与医学的历史与社会学，也涉及人格的核心。DNA 结构的发现者之一、人类基因组计划的第一主管华生（James D. Watson）宣称，“过去我们认为自己的命运写在群星上。现在我们知道，我们的命运大半是写在我们的基因中”（转引自 Jaroff，1989，p. 67）。如果一切正如所预言的那样，在 21 世纪，我们将仍然是基因的存在，然而同时也将变成脑的存在。即将到来的神经世界将不可避免地带来伦理和心理考验，而脑格的历史性观点将有可能帮助我们预测与面对它们。 26

脑、身体与自我

脑格的问题与灵魂和肉体的关系问题有所不同。简单地说，我们可以认为启蒙运动前西方基督教关于灵魂与肉体的关系的思考分两个历史阶段，并且有一个基本的传统。两个阶段是亚里士多德阶段与后亚里士多德阶段；一个传统是指盖伦式的医学与生理学（Galen，古罗马医生与哲学家——译者注）。在 16 世纪晚期前一直统治学术思想的基督教的亚里士多德框架中，灵魂的定义是——用亚里士多德的话来说——“形”或“一个有拥有生命潜在可能的自然体的第一实在”（De Anima，412a20）。这不仅意味着灵魂是生命的原则，或者说给一种特定的物质赋予生命的东西，同时也意味着灵魂不可能真正地与身体分离。关于这一点，亚里士多德的比喻很有说服力：“如果眼睛是一个动物”，他写道，“那么视觉就是它的灵魂，……也就是说，如果视觉离开了它，它就不再是眼睛……而只能像石刻笔画的眼睛一样”（De Anima，412a-413a）。

从这种角度来理解，灵魂负责生物的一切本质性功能。这些功能指的是机能或者能力，有营养性的或植物性的，知觉性的或感觉性的，食欲或愿望的，运动或移动的，以及理性或智力的（见 Kessler，1990；Michael，2000；Park，1990）。这些不同的机能有些时候被描述为不同的灵魂，但关于这一点的讨论与我们无关。重要的是人类的灵魂拥有全部的机能；而其他生物被认为缺少理

性灵魂；植物的特性就是只有植物性灵魂。所有这些有机体都被看作生命体或有灵体；这就是为什么直到 17 世纪末，心理学这个词（1590 年前就有使用）或它的同义说法“灵魂的科学”（scientia de anima）指的是一种涉及所有生命体的一般科学，包括植物、动物和人（Vidal，2006）。智力或理性灵魂向我们提出了特殊的问题。亚里士多德提到一种“主动理智”（active intellect），并认为它是独立的、不灭的、永恒的。这种“非亚里士多德”的观点带来了长达几个世纪的争论；然而在 13 世纪，灵魂是统一实体的观点，以及理性灵魂“本身就是，且本质上是”（per se et essentialier）身体的“形”（按亚里士多德的说法）的观点成为基督教的正式教义。

随着亚里士多德框架的瓦解，灵魂不再掌管营养性、植物性与感觉性功能，而变得等同于心智或理性灵魂了，正如在笛卡尔的哲学中那样。这是灵魂这一概念的一个剧烈转变，使得我们有必要重新思考灵魂与肉体统一性这一问题。在 17 世纪和 18 世纪，人们从三种视角出发，对灵魂—肉体统一性问题进行了探讨。从物理影响系统的角度来说，两种存在以物质的方式相互作用。在马勒伯朗士的机会论中，上帝是两者统一性的因果力。例如，灵魂希望移动身体，上帝就使身体移动。最终，Gottfreid Wilhelm Leibniz 认为灵魂与肉体之间的关系被一种先在的和谐所协调，就像两座完全同步的钟一样。灵魂—肉体统一性的假设与将灵魂—肉体作为实证研究的证题是不同的。它们的统一性被作为一个既成事实而接受，由信仰、理性与内在感觉所支持，然而其本身是神秘的；而两者间的互动（commercium）则可以通过考察人类的那些似乎体现了两者的互相依赖关系的行为现象来解释。随着它在 18 世纪的发展，这种互动构成了“实证心理学”领域的主要研究焦点（Vidal，2000；Vidal，2006）。

尽管亚里士多德时期与后亚里士多德时期有着重大的分歧，但是人们看待灵魂与肉体的方式却在数个世纪基本保持不变，都是建立在 2 世纪希腊哲学家与医生盖伦的生理理论之上的（Temkin，1973）。在被认为源自希腊医生希波克拉底（约生于公元前 460 年）的较早理论基础上，盖伦提出，可以把健康看作四种主要的液体或“体液”的平衡。这些体液——血液、黄胆汁、黑胆汁和黏液——是由四种元素（火、气、水、土）混合产生的，并与它们有相同的基本属性（热、冷、湿、干）。为了生活健康而开出的治疗、食疗与卫生保健处方应该建立在以维持体液平衡为目标的基础之上。在每一个人体内，这四种体液以不同的比例与混合方式存在，它们决定了所谓的“气质”。而气质则被认为决定了我们今天所说的人格或能力——这一点在盖伦影响深远的论文的题目（Quod animi mores corporis temperamenta sequantur，意为灵魂的能力

服从于身体的混合方式）中就有所体现。对我们现在所要讨论的问题来说，关键的一点是人被定义为由肉体与灵魂这两种物质所构成的，肉体与灵魂紧密联系并且不断地彼此互动。

盖伦用一种纯粹生理学的方式来解释这种互动。按照盖伦的观点，身体包括三个系统：脑与神经、心脏与动脉、肝脏与静脉。血由肝脏产生，由静脉传送到身体的其他部分，被各种器官所消耗，并转化为“灵”或越来越稀薄的液体。它最先形成“自然灵”，负责营养与生长。在肺中，血液与空气结合；然后它进入心脏，其中的一部分变为“生命灵”，掌管运动与生命功能。血液的最后一次转换发生在脑中，在那里它变为“动物灵”，以产生感觉与智力功能。这些灵的质性，例如它们的气质或浓度，与体液的气质或浓度密切相关。例如，如果一个人的血液过冷，其动物灵也会变冷，依赖于它的思维活动就会变得虚弱和缓慢。他认为动物灵存在于“脑室”中并在其中移动（参见图2.1，从前向后）。这些脑室的功能是“一般感觉”（common sense）的处所，它们收集感觉信息、想象与幻想、判断与智能以及记忆（Clarke & Dewhurst, 1973；Harvey, 1975；Kemp, 1990）。

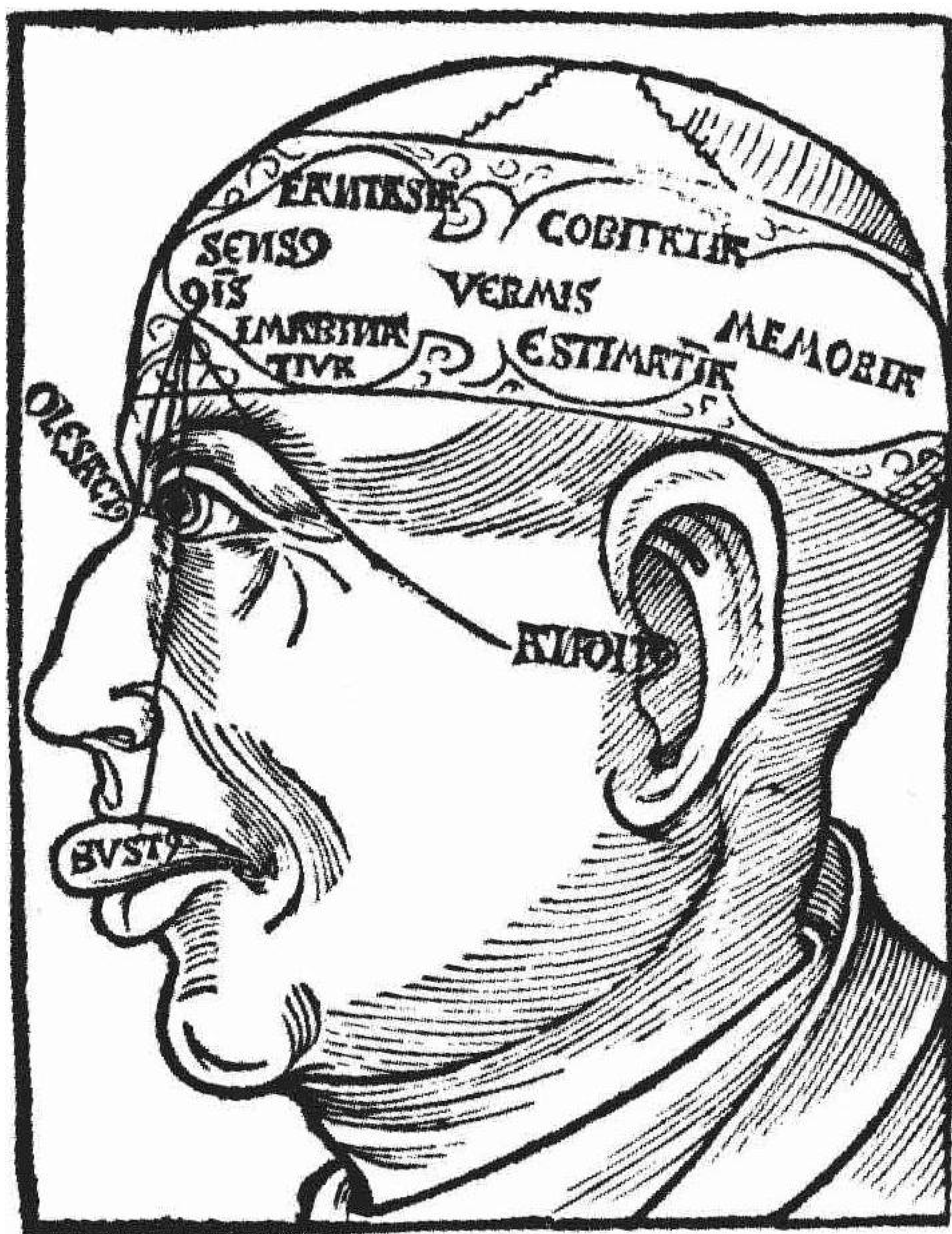


图 2.1　本图描绘了心理功能的“幽室理论”。舌头、鼻子和耳朵都连接到位于前脑室的“一般感觉”上，而前脑室还包括了想象与幻想。摘自 Hieronymus Brunschwig, The Noble Experyence of the Vertuous Handy Warke of Surgeri (London, 1525)，最早于1497年出版于德国。

在这里，脑的功能是产生动物灵的工厂，然而决定一个人的个性与能力的却是这些灵本身与其他体液。例如，西班牙医生 Juan Huarte de San Juan 在他的 1575 年出版的著作 Examen de ingenios para las ciencias（后来，17 世纪晚期的一位翻译家把此书命名为《智之尝试：探索智慧的差别以及什么样的学习方法适合不同的天才》）中继承了盖伦的“论灵魂的疾病”（Quod animi mores）中的观点，阐述了湿与记忆、干与理解、热与想象的关系。因此这些不同能力间的个体差异依赖于脑的物理属性，也就是说它的气质以及“湿”、“干”的程度。

17 世纪与 18 世纪，体液理论在与机械论和固体论的论战中略有失利，但影响力仍然十分巨大。在有关灵魂与肉体互相作用的问题特别是认知功能问题上，神经学说获得了新的地位。当时人们将神经看作是固体的或有弹性的纤维，或者是中空的管子。不管是哪一种，它都构成了肉体与灵魂之间的媒介；一些作者（例如日内瓦的自然主义者与哲学家 Charles Bonnet）强调它们的作用，他们把灵魂的位置放在脑中所有神经的交汇点上。相对于赋予体液与气质重要作用的盖伦式框架来说，这种理论更进了一步，把脑变成了产生自我的器官，并认为脑对于正在蓬勃发展的实证心理科学有重要的意义。启蒙时期最重要的两位心理学思想家，David Hartley 在他的《对人的观察：其结构，其义务及其期望》（*Observations on Man*, *His Duty*, *and His Expectations*, 1749）中，Bonnet 在他的《论心理学》（*Essai de psychologie*）和《灵魂功能之辨析》（*Essai analytique sur les facultiés de l'âme*, 1760）中，都详尽地对神经与脑的心理学进行了说明，强调神经与脑在习惯形成、联想机制以及从感觉印象中形成概念的作用。

然而，由于技术上的原因，几个世纪以来，脑一直是身体上最难以用科学方法进行研究的器官（Brazier, 1988; Clarke & O'Malley, 1968; Clarke & Jacyna, 1987; Corsi, 1990; Finger, 1994; Neuburger, 1897/1981）。因此，心理学的脑科学化或者说神经科学化并不是真的依赖于脑结构与功能的知识进步，我们不能说这些理论算是真正的进步。关键的一个因素正是我想借脑格一词来捕捉的人类学革命。而我们现在也必须转而讨论这场革命。

脑格革命

虽然脑在盖伦的生理学与后来启蒙时期的神经生理学中占有重要的地位，脑格本体论的出现也依赖于其他科学和哲学的因素。为了理解这些因素，我们必须先来想一想基督教作为一种宗教传统所拥有的一个核心观念：道成肉身（Incarnation），也就是说，基督是上帝进入肉身。当然，早期出现过一些争论，涉及基督肉身的本质以及基督的人性与神性究竟是什么关系的问题。然而最终成为正式定论的说法是基督有一个完全的人类身体，他既是神也是人。从这里演化出了基督教人类学，即人只能以肉体的形式存在。

过去人们常说基督教将个人视为一种二重体，不灭的、将受到审判和救赎的灵魂与可灭的、将受折磨和蔑视的肉体被撕裂开来。不管怎么说，从人类学的角度来看，它与笛卡尔在其《第一哲学沉思集》(*Meditations on First Philosophy*)中所提出的无肉体的自我这一观点背道而驰。对基督教传统来说，“人类意味着实体化的心灵”这一观点（Porter，1991，212）是不准确的。常见的“实体化的自我”这一说法隐含了（潜在的）“非实体化的自我”这一概念。然而，基督教认为除非肉体与灵魂合一，否则人就无法存在。用神学家 Antoine Vergote 的话来说，所谓的人“不是说他有肉体，而是说他的存在是肉体性的；”“肉体就是人的全部”（Vergote，1979，96/97；另见 Bynum，1995；Keenan，1994）。

这种人类学观念产生了严重的后果，其中最为神秘的要数肉体复活的教义了。在这一点上，基督教在出现的最初几个世纪中又出现了争议，而最后的正式观点为：不论是肉体身份还是心理身份，复活的个体都与其未死时一样。于是身份（identity）（拉丁词反身代词 ipse）使得“一样”（sameness）（拉丁语中的 idem）成为必然（在两个谓语指向同一主语或在比较“……与……一样”中使用）。这个观点包含了一些复杂的问题。其中一些在基督教出现之初就已提出，并在 18 世纪之前一直困扰着思想家们（Vidal，2002）。它们包括类似这样的问题：如果在复活的时候必须恢复所有的血肉，那么在我们一生中不断损失又不断补充的那些东西又会怎么样呢？或者我们可以把问题变得更为戏剧化：如果你被一个食人族吃了，你的血肉被他吸收为自己的血肉了，那么复活的时候那些血肉会到哪里去呢，回到食人族的身上，还是回到你身上？

这类问题表达了本体论困境。复活教义认为复活后的身体将是“属灵的”，并将拥有某些特殊的性质。同时，它又断言复活后的身体将“在数字上”与我们在世上生活时的身体一样，换言之，它们不但在质性上是相同的，甚至组成的物质也一样。在基督教徒中，问题从来不在于复活会不会发生或者复活之后的我们还是不是我们。概念上的难题是如何想象身体的自我相同性以及它与我之为我的关系。复活后的身体会与相应的生前的身体在数字上相同吗？如果会，怎样实现？如果不会，那么质性上的相同将以何为据？因此，复活的难题强调了基督教人类学的原则，即肉体就是人的全部，人类不能以一种非实体的状态存在，而且为了使我们每个人成为自己，我们需要身体——不是随便找一个身体就可以的，而必须是我们自己的身体。然而，在 17 世纪晚期，人们对这种观点进行了反思，并对其提出了挑战。

就我们讨论的问题来说，在科学革命的背景之下，有三个相互牵连的进程初露端倪：一是人格开始相对地离开肉体；二是人的身份心理学化；三是对身体与脑研究的日益兴起。当时被称作“新哲学”的两种观点组成了一种新的脑格形式：物质的粒子理论与约翰·洛克的个人身份理论。粒子哲学（例如

31

牛顿就赞同这种理论）用运动、数字、静止与可互换的物质粒子的位置来解释自然界的现象。肉体的不同并不来源于组成肉体的成分不同，而是源于其组
32 合机制的不同。这对复活教义产生了立竿见影的影响，也就是说，复活后的身体不再需要用与生前的肉体完全相同的物质来构建了。物质的连续性失去了它在个人身份构建中的重要性；而这一点，正如哲学家约翰·洛克不久后指出的那样，不但适用于复活后的人，并且广泛适用于人格。

洛克在《人类理解论》（*Essay concerning Human Understanding*, 1694/1988，第二卷，第 27 章）一书中提出把物质实体与个人身份相分离。他的理论从区分人（man）与个人（person）出发。洛克写道，人的身份是“同一个连续的生命不断地与同一个身体组织进行生命性联系”；因此，如果希利伽巴拉斯（古代罗马皇帝——译者）的灵魂被转移到一头猪身上，没有人会说“这头猪是一个人，或这头猪是希利伽巴拉斯”（§6）。与之相对地，洛克把个人（person）定义为“一种会思考的存在，拥有理性与反思，可以在不同的时间与不同的地点把自己看作自己，看作同一个思考的存在。”（§9）。于是个人身份就存在于记忆与意识的连续性中，洛克称其为“理性存在的同一性：且（他补充道）这一意识可以回溯到过去多远的行为与想法，那么这一个人身份就可以回溯多远”（§9）。他解释道，个人身份完全依赖于“使一个人成为他自己的相同的意识”——且不论这一意识被“附加”在什么样的物质之上。（§10）。由此得出：自我（就是洛克用“个人”所指代的概念）也依赖于意识而非物质。因此，这位哲人认为，如果他的小手指被切掉了，而意识恰好存在于小手指中，那么“这证明了小手指就是这个个人，相同的个人；而且自我与身体的其他部分都没有关系”（§17）。在这种占有式的个人观看来，我们不说我们“是”肉体，而说我们“有”肉体；对我们来说肉体被客体化，并远离了“自我”，成了我们拥有的一样东西，而不再是我们本身（Taylor, 1989）。于是个人身份变成一个心理学概念，离开了我们的肉体身份。

与早先强调自我的本质是肉体性的观点相反，他的观点暗示了一种肉体的缺失。但这种区分并不是绝对的。在他的理论中，维持身份所必需的记忆与意识仍然依赖于一根小手指。在启蒙时期的实证心理学中，它们则存在于脑。于是，一个与身体分离的、非实体的灵魂仍然无法独自成为他所谓的人。问题在于身体的哪一部分是我们成为自己所必需的？答案是，要成为一个人，我们唯
33 一需要的就是我们的脑——那个包含了我们的记忆与意识的东西。身体的其他部分是可有可无的，而且在它们存在的时候，它们也没有必要是这个人自己的。毫不意外的是，脑科学并没有直接涉及这类问题。自从 18 世纪末以来，它们争论的中心围绕着三个主题。第一个是心灵—脑、一元论—二元论的争论。这里的议题是，一般的认知与行为以及作为它们物质基础的脑，是否可以从某种程度上被看作是两个分离体，或者说是否心灵与其功能可以还原为脑本

身。第二个争论的双方是定位论与整体论，这里的议题是脑不同区域的神经元是否有特化的功能，或者说脑是否以一个整合的整体方式工作。第三个涉及意识的本质，以及它如何由脑产生。在这一点上，“灵魂”一词在当代神经科学与神经哲学中的反复出现可能并非一种修辞手法或反讽（见 Crick，1994），而是代表了一个有待解决的问题。

19 世纪中涌现出一些脑主体的萌芽。颅相学是我们最熟悉的一个例子（Clarke & Jacyna，1987；Renneville，2000；http://pages.britishlibrary.net/phrenology）。在维也纳医生高尔（Franz Joseph Gall，1758–1828）的理论基础上建立起来的颅相学既是一种官能心理学、一种脑理论，也是一种测量人的个性与能力的方法。它基于几个假设之上：脑是掌管心灵的器官；心灵由内在的官能构成；每种官能在脑中有其自己的位置或“器官”；每个器官的大小与其对应官能的强弱成比例；脑的形状由这些不同器官的生长情况所塑造；最后，因为颅骨的形状取决于其下脑的形状，它的形状或“凸起”就表现了一个人的心理能力与倾向性。

尽管最终人们发现这些所谓的脑器官是虚构的，颅相学仍然是第一个将心理能力与行为归属于脑皮层不同区域的理论体系，而且它的一些假设也被 19 世纪后半叶的研究所证实了。这一时期人们取得了根本性的进展，特别是脑定位以及细胞结构学（或者说是脑的细胞结构，包括神经元的发现）方面。这些发现脑是产生自我的器官这一信念的启发（而且显然也被证实）。这一信念体现在对天才的脑、罪犯的脑和心理疾患的脑的研究中，研究者认为他们这些超常的正性或负性的特性印刻在他们的脑中（例如 Hagner，2004）。从那时开始，脑与心理状态间存在某种关系这一神经哲学的基本假设就从来没有丧失它的吸引力——其吸引力反而不断增加。这要感谢神经成像技术的推广，它们所产生的图像具有动态的美感以及显而易见的即时性，具有可读性与直观性的魅力，这一切使得这些成像技术成为了解我们是谁的一扇窗户（Dumit，2003，2004）。 34

脑格本体论

上文中所勾勒出来的这些历史上的进展共同带来了大脑人和神经人的概念，也带来了“人之为人，唯脑必需”这一观点。而脑格本体论则直到 20 世纪 60 年代才真正成形。它出现在一些关于个人身份的哲学讨论之中。这些讨论的特点是使用洛克在他的《人类理解论》中使用过的那种想象实验，只不过现在这些实验涉及了脑。据笔者所知，最早的一例可以在《自我知识与自我身份》（*Self-knowledge and Self-identity*）中找到，该书是由康奈尔大学的哲学家西德尼·舒梅克（Sidney Shoemaker）于 1963 年出版的。

在讨论个人身份的肉体与心理标准时，舒梅克引证了洛克的一段论证，他称之为“换体论证”。洛克曾指出，如果一个“带着他生前意识的”王子的灵魂被转移到皮匠的身体里，而皮匠的身体则抛弃了原先的灵魂的话，那么显然，虽然此人看起来仍然是皮匠，但是他“将与王子是同一个人，并将执行王子的行为”（Locke，1694/1988，2. 27. 15）。舒梅克（1963，22）注意到，洛克的想法是：“一个人可以不再拥有他过去拥有的肉体，而拥有一个新的肉体。”

这位哲学家接着假设，假如有一天医学发展出一种“脑提取”的技术，可以完整地从一个人的颅腔中移出脑，以便检查或手术，然后再放回头盖骨中。这一天，一个外科医生发现他的助手在将从布朗先生和鲁宾孙先生中提取出的脑放回原处时搞混了。其中一个人马上死了，而另一个人则活了下来。活下来的人拥有鲁宾孙的身体和布朗的脑——于是，我们姑且叫他布朗孙（按舒梅克的说法）。当布朗孙恢复意识并查看自己的身体时，他被自己的外貌惊呆了，并声称他的身体是躺在一旁的鲁宾孙先生的尸体。当被问到名字时，他回答“布朗”，他认识布朗的妻子与家人，并可以描述布朗生活中的事件。事实上，他的人格特质与心理学特征是布朗的特点。

35

舒梅克正确地指出，我们中的很多人会强烈地倾向于“认为布朗孙虽然有鲁宾孙的身体却实际上是布朗。”然而，他对此的评论却是“把脑身份作为个人身份的标准是荒谬的”。实际上，“如果布朗孙在清醒之后言谈举止与鲁宾孙过去所做的一样，那么肯定没有人会认为这个有着鲁宾孙的长相、鲁宾孙的行为、鲁宾孙的语言的人，这个一直以来都属于鲁宾孙的身体，实际上应该是布朗而非鲁宾孙，仅仅因为他有一个布朗的脑。”因此，舒梅克的结论是脑的状态与一个人的心理特征的关系是“因果的与偶然的”，而非“逻辑上必要的”。布朗孙拥有过去属于布朗的脑这一事实“使得此人与布朗的密切关系从逻辑上说得通……然而我们并不能以此为基础来说明……布朗孙是布朗。”如果我们这样说，那就等于是让个人身份的心理标准“凌驾于肉体的无身份的事实之上”了（所有引文来自 Shoemaker，1963，24-25）。批评者认为，舒梅克所说的“肉体无身份”以及称此论证为“换体论证”，实际上是简单地把身体等同于提取了脑的身体——完全忽视了脑也是身体一部分这一事实（Ferret，1993，77）。然而，在这一领域中几乎没有什么比脑一体二分法更普遍的思想了——例如我们有“是脑而不是身体使运动员感觉疲倦”这类说法（Randerson，2004）。

紧随舒梅克之后，人们不可避免地在讨论个人身份的时候借助于脑外科的想象。脑开始成为自我的肉体极限，如此，若脑被摘除那么我（自我）就不再是我了。这种心理与肉体标准可以用下面的公式来概括：当且仅当 A 与 B 拥有一个功能上相同的脑时（Ferret，1993，79），个人 A 与个人 B 是相同的。

这一定义将相关的肉体缩减到脑，我们可以将其看作脑格理论中的公理。

通过这样一种方式来理解，脑格在哲学和人类与生命科学以外产生了数不清的文化具象：体现在医学伦理中（医学伦理涉及例如脑死亡、脑干预技术以及神经嫁接等议题）；体现在神学与宗教中（不仅包括"神经神学"，或者说对灵魂与宗教体验的神经基础的探寻，也包括例如是否复活的肉体应当被重新理解为复活的脑这一类问题）；最后，也体现在不断扩展的神经信念与神经实践的灿烂星空中，从学习如何用单侧脑画画或感觉，到各种形式的神经健康学和神经神秘学。科学社会人类学家 Joseph Dumit 的作品向人们展示了神经成像技术如何带给我们一种"个人分类的数字图像"，并通过他所谓的"客观的自我塑造"改变人们的生活与自我知觉（Dumit，1997，2004）。最后，一些来自整形行为的研究表明，虽然脑以外的身体被看作个人身份之所在，被作为承载自我的工具，但是这一类行为同时暗示了一种态度，即身体是我们拥有的东西，而不是我们本身（Andrieu，2002；Featherstone，2000；Le Breton，2000）。即使心—脑关系问题可以被某种同一性概念所解决或搁置［例如"心理脑"（Mindbrain）］，脑格很可能仍然是一个潜在假设。举个浅显的例子，在针对怀疑论的反驳中，哈佛大学哲学家 Hilary Putnam 想象了以下这个情境：当你睡觉的时候，一个科学家把你的脑取出，放在一个大桶里，再连上一台电脑。电脑向你的神经末梢传递你的脑通常所接收到的那些信息。当你醒来时，一切看起来与往常无异，只不过你现在只剩下装在桶中的一个脑而已。先不说 Putnam 是如何从这个思维实验中得出反怀疑论的结论的（他声称如果你是一只桶中的脑的话，你不会认为自己是桶中的脑），这里重要的地方是，对这个思维实验而言，我们不假思索地选择了脑，就好像研究自我知识问题将自然地且必然地隐含脑格假设一样。

36

到目前为止，有几种方法反对脑格。必须看到的是，这些方法中没有一种需要反对脑显而易见的基础性地位。其中一种方法在 Kathleen Wilkes 的《真正的人》（*Real People*，1988）一书中有所体现。虽然对各种思维实验颇有微词，但她还是用了很多页的篇幅来谈脑，强调不可将科学信息过分简化，不可将皮层看作脑的全部。另一种方法是 Paul Ricoeur 提出的。在他看来，各种关于脑的幻想使得身体中性化了，并将其束缚在脑上，而失去了自我所具有的肉体性（soi comme chair）。他认为，脑与身体其他部分不同的地方在于它缺乏"现象学状态"。我们与自己身体的其他器官之间存在着"生命的联系"，不管这种关联是在运动上（手）、知觉上（眼）、情绪上（心脏）还是表达上（声音），我们与脑之间的关联却没有相同的体验（Ricoeur，1990，159，378）。第三种方法来自已故的神经科学家 Francisco Varela。他从对脑一体等式和消除性神经还原论（根据这一观点，不存在心理状态，只存在神经状态）的批评出发，提出了一套"神经现象学"，其目标在于将具身化（embodiment）与第

37 一人称经验重新整合到神经科学中去（Varela，1996；Varela，Thompson，& Rosch，1991；Petitot et al.，2000）。

我相信这些对于脑格的反应在方向上是正确的。然而，脑格的研究才刚刚开始，而脑主体的整个历史与影响还有待发掘。这一工作并不简单，因为我们不能没有脑（每个人都至少需要拥有一部分脑）；也因为脑格是我们每个人都拥有的存在条件；脑格已经被用来指定我们的死亡时间——虽然这其中还有点问题（Schlich & Wiesemann，2001）——而且还会进一步改变我们的生活进程，既带来好处也带来风险。同时，说到脑格构成的人类观，它是一种毫无内在必然性的人类创造，只不过是古已有之的将道德权威归于自然冲动的另一种体现罢了（Daston & Vidal，2004）。对脑格本体论的理解与妥协，是未来的一项长期工作。这里我所能做的不过是间接地表达一下我的偏好，并象征性地提出几个我认为我们必将面对的挑战。

已故的 Helen Chadwick 在 1991 年创造了一件惊人的艺术品（参见图 2.2）。

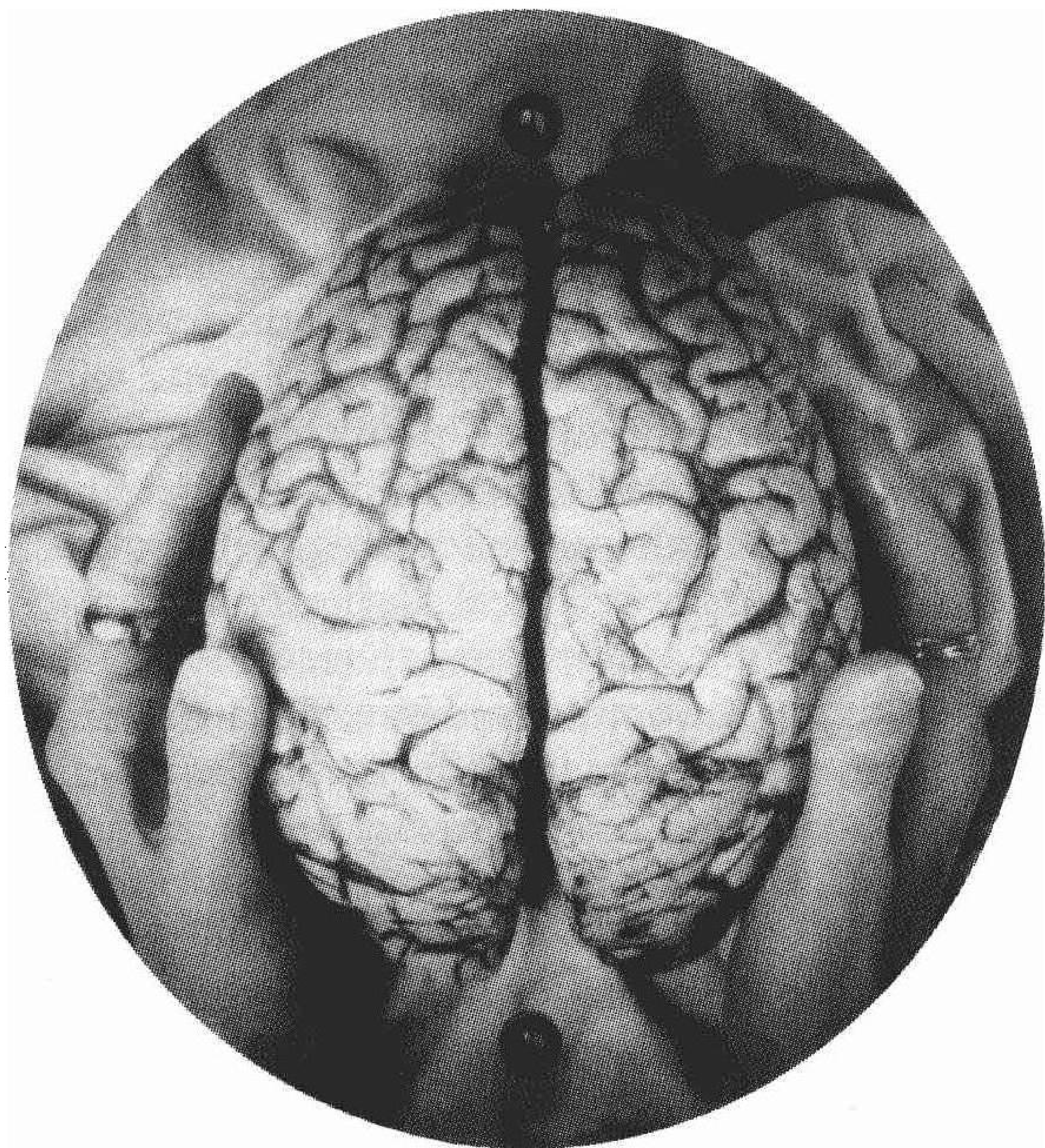


图 2.2 Helen Chadwick，"自画像"（1991）。©Helen Chadwick。Courtesy Zelda Cheatle 美术馆。

这是一件印在玻璃上的照片，并从玻璃后面进行照明。它有一个令人不安的标题——"自画像"。带着"欣喜的反面想象"［Warner，1996，（1）］，Chadwick 用脑代替了普通自画像中的面孔；因此她似乎在说："我就是我的

脑。”然而，画中的脑不可能是这位艺术家自己的脑；相反，作为自画像中另一个传统元素的双手倒确实是她本人的，带着独特的形状，有着独特的印记与饰物。在这一幅自画像中，这双手以一种小心的姿势托举着脑，表现出一种类似奉献或布施的样子，几乎像是双手被脑驱使着，将脑的重要性神圣化，并彰显了它的脆弱。然而，这双手的存在本身，以及那扭曲的、肉色的、脑一样的背景组织使我们看到了艺术家的整个身躯，她的技巧、她的个性、她的历史、她的环境以及个人关系。Helen Chadwick 宣称，“我希望这身体成为像脑一样的胜利之所在”（转引自 Warner，1989，58）。这样看来，她的自画像显然并不是在说“我就是我的脑”。相反，它表现了脑确实处在这一艺术作品的中心——但同时，这一艺术品的创造不能完全等同于她的脑。

这与本书探讨神经教育学时所持有的精神是吻合的。然而，这里呈现给大家的关于脑与自我的简要历史表明，这种观点并不是唯一的，并且其本身是历史发展与对神经科学的挑战进行反思的结果。这样的一种思考勾勒出了神经教育学的发展所处的环境，并有可能帮助这些发展的推动者们保持其对神经教育学的人类学背景与维度的敏感。教育的实践者们可能感觉教育中的“艺术”成分永远会大于“科学”成分。然而，问题可能在于如何将两者进行和谐统一，以及如何以脑结构与功能的数据积累之外的眼光来看待神经科学对教育的贡献。因为正如脑格与脑主体的历史发展所表明的那样，神经科学影响教育学的方式将更少地依赖于技术信息，而更多地依赖于关于何为人类，以及人类社会应该如何组织这类问题的知性的也希望是英明的、道德的、哲学的与政治的决策。

38

参考文献

Andrieu, B. (2002). *La nouvelle philosophie du corps* (The New Philosophy of the Body). Ramonville: Éditions érès.

Blank, R. H. (1999). Brain Policy: *How the New Neuroscience Will Change Our Lives and Our Politics*. Washington, DC: Georgetown University Press.

Brazier, M: A. B. (1988). *A History of Neurophysiology in the Nineteenth Century*. New York: Raven Press.

Breidbach, O. (1997a). *Die Materialisierung des Ichs. Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhundert* (The Materialization of the Self. On the History of Brain Research in the Nineteenth and Twentieth Century). Frankfurt, Subrkamp.

(1997b). Einleitung: Neuronale Ästhetik-Skizze eines Programms (Introduction: Neuronal Esthetics. Sketch of A Program). In O. Breidbach (ed.), Natur des Ästhetik-Ästhetik der

Natur (Nature of Esthetics-Esthetics of Nature) (Vienna/New York, Springer).

Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: a bridge too far. *Educational Researcher*, 26, 4–16.

(1999). In search of…brain-based education. *Phi Delta Kappan*, www. pdkintl. org/kappan/kbru9905. htm.

Bynum, C. W. (1995). Why all the fuss about the body? A Medievalist's perspective. *Critical Inquiry*, 22, 1–33.

Camerer, C., Loewenstein, G., and Prelec, D. (2003). Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics, http://sds. hss. cmu. edu/faculty/Loewenstein/downloads/neurojep. pdf.

Changeux, J. P. (1983/1997). *Neuronal Man. The Biology of Mind*, trans Laurence Garey. Princeton: Princeton University Press, 1997.

Changeux, J. –P. (2000). La révolution des neurosciences (The Neurosciences Revolution) [an interview]. *Label France*, n° 38, www. france. diplomatie. fr/label france/FRANCE/DOSSIER/2000/09neuro. html.

Clarke, E. and Dewhurst, K. (1972). *An Illustrated History of Brain Function*. Berkeley, CA: University of Califomia Press.

Clarke, E. and O'Malley C. D. (1968). *The Human Brain and Spinal Cord*. Berkeley, CA: University of California Press.

Clarke, E. and Jacyna, L. S. (1987). *Nineteenth-Century Origins of Neuroscientific Concepts*. Berkeley, CA: University of Califomia Press.

Corsi, P. (ed.) (1990). *La fabrique de la pensee. La découverte du cerveau de l'art de lamémoire aux neurosciences* (The Fabric of Thought. The Discovery of the Brain from the Art of Memory to the Neurosciences). Milan, Electa.

Crick, F. (1994). *The Astonishing Hypothesis. The Scientific Search for the Soul*. New York: Scribner.

Dahl, R. (1960/1979). William and Mary. In Roald Dahl, *Tales of the Unexpected*. Harmondsworth, Penguin Books.

Daston, L. and Vidal, F. (eds.) (2004). *The Moral Authority of Nature*. Chicago: University of Chicago Press.

Dumit, J. (1997). A digital image of the category of the person. PET scanning and objective self-fashioning. In G. L. Downey and J. Dumit (eds.), *Cyborgs Citadels. Anthropological Interventions in Emerging Sciences and Technologies*. Santa Fe, New Mexico: School of American Research Press.

(2003). Is It Me or My Brain? Depression and Neuroscientific Facts. *fournal of Medical Humanities*, 24 (1/2), 35–47.

(2004). *Picturing Personhood. Brain Scans and Biomedical I dentity*. Princeton: Princeton

University Press.

Eickmeier, J. (1004). Make your brain feel younger, www. prevention. com/article/0, 5778, s1-5-91-276-2889-1, 00. html.

Featherstone, M. (ed.) (2000). *Body Modification*. London: Sage.

Ferret, S. (1993). *Le philosophe et son scalpel. Le problème de l'identité personnelle* (The Philosopher and His Scalpel. The Problem of Personal Identity). Paris: Editions de Minuit.

Finger, S, (1994). *Origins of Neuroscience. A History of Explorations into Brain Function*. New York: Oxford University Press.

Garland, B., (ed.) (2004). *Neuroscience and the Law. Brain, Mind, and the Scales of Fustice*, New York: Dana Press.

Glimcher, P. (2003). *Decisions, Uncertainty, and the Brain. The Science of Neuroecono-mics*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hagner, M. (1997). *Homo cerebralis. Der Wandel vom Seelenorgan zum Gehirn* (Homo Cerebralis. The Transformation of the Organ of the Soul into the Brain), Berlin: Berlin Verlag.

Hagner, M, and Borck, C. (2001). Mindful practices: on the neurosciences in the twentieth centuy. *Science in Context*, 14 (4), 507-510.

Hagner, M, (2004). *Geniale Gehirne. Zur Geschichte der Elitenhirnforschung*. Berlin: Wallstein.

Harvey, R. (1975). *The Inward Wits. Psychological Theory in the Middle Ages and the Renaissance*. London: Warburg Institute.

Jaroff, L. (1989). The gene hunt. *Time Magazine*, 20 March, 62-67.

Kaplan-Solms, K. and Solms, M. (2002). *Clinical Studies in Neuro-Psychoanalysis: Introduction to a Depth Neuropsychology*. New York: Karnac Books (2nd edn.).

Kemp, S. (1990). *Medieval Psychology*. New York: Greenwood Press.

Keenan, J. F. (1994). Christian perspectives on the human body. *Theological Studies*, 55, 330-346.

Kessler, E. (1990). The intellective soul. In Schmitt et al. (1990).

Kleeberg, B. (2004). Vor der Sprache. Naturalistischer Konzepte objektiver Wahrnehmung (Before Speech. Naturalistic Concepts of Objective Perception). In F. Crivellari, K. Kirchmann, M. Sandl, and R. Schlogl (eds.), *Die Medien der Geschichte. Historizität und Medialität in interdisziplinärer Perspektive* (The Media of History. Historicity and Mediality interdisciplinary Perspectives). Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft.

Le Breton, D. (2002). *Signes d'identité. Tatouages, piercings et autres marquescorporelles* (Signs of Identity. Tatoos, Piercings, and Other Body Markings). Paris: Métaiilié.

Locke, J. (1694/1988). *An Essay Concerning Human Understanding*, ed. Peter H. Nidditch. Oxford: Clarendon Press.

Marcus, S. J. (ed.) (2004). *Neuroethics. Mapping the Field*. New York: Dana Press. Histori-

cal considerations.

McCabe, K. (2003). Neuroeconomics. In L. Nadel, ed., *Encyclopedia of Cognitive Science*. London: Nature Publishing Group, vol. 3.

Michael, E. (2000). Renaissance theories of body, soul, and mind. InJ. P. Wright and P. Potter (eds.), *Psyche and Soma. Physicians and Metaphysicians on the Mind-Body Problem from Antiquity to Enlightenment*. Oxford: Clarendon Press.

Neuburger, M. (1897/1981). *The Historical Development of Experimental Brain and Spinal Cord Physiology Before Flourens*, annotated and translated by Edwin Clarke. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Newberg, A., D'Aquili, E., and Rause, V. (2001). *Why God Won't Go Away. Brain Science and the Biology of Belief.* New York: Ballantine Books.

Noonan, H. (1991). *Personal Identity.* London: Routledge.

Park, K. (1990). The organic soul. In Schmitt et al. (1990).

Perry, J. (ed.) (1975). *Personal Identity.* Berkeley, CA: University of California Press.

Porter, R. (1991). History of the body. In Peter Burke (ed.), *New Perspectives on Historical Writing*. Pennsylvania: Pennsylvania State University Press.

Petitot, J., Varela, F., Pachoud, B., and Roy, J. M. (eds.). (2000). *Naturalizing Phenomenology. Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science.* Stanford: Stanford University Press.

Putnam, H. (1981). *Reason, Truth, and History.* New York: Cambridge University Press.

Randerson, J. (2004) Brain not body makes athletes feel tired. *New Scientist*, 29 July. www.newscientist.com/article.ns? id=dn6208.

Renneville, M. (2000). *Le langage des crânes. Une histoire de la phrénologie* (The Language of Skulls. A History of Phrenology). Paris: Les Empêcheurs de tourner en rond.

Ricoeur, P. (1990). *Soi-même comme un autre* (Oneself as Another). Paris: Seuil.

Schlich, T. and Wiesemann, C. (eds.) (2001). *Hirntod. Zur Kulturgeschichte der Todesfeststellung* (Brain Death. On the Cultural History of the Definition of Death). Frankfurt: Suhrkamp.

Schmitt, C. B., Quentin, Kessler, E., and Kraye, J. (eds.). (1990). *The Cambridge History of Renaissance Philosophy.* New York: Cambridge University Press.

Shoemaker, S. (1963). *Self-Knowledge and Self-Identity.* Ithaca: Cornell University Press.

Taylor, C. (1989). *Sources of the Self. The Making of the Modern Identity.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Temkin, O. (1973). *Galenism. Rise and Decline of a Medical Philosophy.* Ithaca: Cornell University Press.

Varela, F. (1996). Neurophenomenology: a methodological remedy to the hard problem. *Journal of Consciousness Studies* 3, 330–350.

Varela, F. , Thompson, E. , and Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience. Cambridge*, MA: MIT Press.

Vergote, A. (1979). The body as understood in contemporary thought and biblical categories. *Philosophy Today*, 35, 93-105.

Vidal, F. (2000). The eighteenth century as "century of psychology". *Annual Review of Law and Ethics*, 8, 407-434.

(2002). Brains, bodies, selves, and science. Anthropologies of identity and the resurrection of the body. *Critical Inquiry*, 28 (4), 930-974.

(2003). Soul. In Kors, A. C. (ed.). *Encyclopedia of the Enlightenment*. New York: Oxford University Press.

(2006). *Les sciences de l'âme, XVIe-XVIIIe siècle* (The Sciences of the Soul, 16th-18th Century). Paris: Champion.

Warner, M. (1989). In the garden of delights. In H. Chadwick, Enfleshings. New York: Aperture.

(1996). In extremis: Helen Chadwick & the wound of difference. In H. Chadwick, *Stilled Lives*. Edinburgh: Portfolio Gallery/Odense: Kunsthallen Brandts Kl edefabrik.

Wilkes, K. V. (1988). *Real People. Personal Identity Without Thought Experiments*. Oxford: Clarendon Press.

Zimmer, C. (2004). A distant mirror for the brain. *Science*, 303, n° 5654 (2 January), 43-44.

43

第三章

搭建神经教育学的桥梁

John T. Bruer

概述

“心理、脑和教育”行动计划应该在教育研究者和行为研究者之间、教育研究者和认知科学研究者之间、教育研究者和神经生物学研究者之间搭建桥梁。但是，其中有一些桥梁非常坚固，而另一些却问题重重。认知发展和教育之间的联系直截了当并十分有用。比如，在正常习得计算技能和概念方面，低社会经济地位的儿童表现出典型的延迟。若这些孩子有机会接受“正确的起点”（Right Start）这样的方案强化训练，他们便能克服障碍，提高成绩。但其他桥梁的搭建却并没有那么好。特别是由于过度强调与脑成熟有关的学习敏感期而产生的一个限制性的概念——学习的“机会窗”，学习方面的研究并不支持这一概念。事实上，研究也没有证明人们普遍认为的一种观点，即学习需要较高的突触密度。因此，神经科学和教育之间的联系需要包括目标行为的评估，如算术和阅读的学习，且并不假定其以明显的方式与脑的研究成果相联系。本书其他章节则突出强调了将脑科学研究成果和相关教育行为相联系的领域已经硕果累累，并且具有一定的科学严谨性，尤其是语言和算术领域。

——编者

在《教育和脑：一座跨度太大的桥梁》（*Education and the Brain*: *A Bridge Too Far*; Bruer, 1997）一文中，我对发展神经科学对教与学的所谓启示提出了

自己的看法。我也积极认为了目前相对于发展神经科学而言，认知心理学是教育研究的更坚实的基础来源。我曾断言，认知神经科学将是未来奠定学习科学基础的最佳学科，而且它也依赖于认知心理学的研究方法。因此，教育者的最好策略，是将认知心理学纳入到研究中去，然后在认知心理学和教育实践之间搭建"应用性"的桥梁，而在认知科学和系统神经科学之间搭建基础性的桥梁。

1997 年的那篇文章主要是关于教育和政策的共同体，而不是关于认知和神经科学研究的共同体。它提出了"到哪里去寻找能推进教育实践的科学基础"这一问题。但却没有提出下述研究项目所存在的价值和问题，即试图将脑科学和心智科学与教育实践相联系的神经教育学研究项目，也即本书的焦点。本文将试图阐述这样一些价值和问题。 44

我将要：（1）质疑"视神经科学对研究学习的神经基础的主导性作用"；（2）说明"为教育研究和实践构建认知模型的重要性"；（3）解决"认知神经科学如何才能帮助我们提炼出与教育相关的认知模式"。

学习和视神经科学

从 20 世纪 70 年代晚期开始，神经科学家就已经知道，猴子和人类在出生后都有一个早期发展阶段。在这一阶段，突触的生成率超过删除率，比如，有一个发展性的突触发生期（参见 Lund et al.，1977，Huttenlocher et al.，1979，Rakic et al.，1985）。人类行为学家和动物行为学家也观察到，动物和人类发展都存在着关键期（Bailey et al.，2001）。虽然"关键期"的定义由于不同的作者而不同，但其核心思想都是，在生物的发展中存在一个有限的时期。在这一时期内，机体对特定类型的经验是易感的、准备着的或开放的。如果这个期间内经验未发生，将永远偏离正常的发展轨道。我们了解到的以关键期为基础的神经机制，很多都是源于以下研究：视觉剥夺怎样影响视觉皮层中视觉优势柱的形成或者维持（Singer，本书）。曾经有一个时期，研究者还研究过复杂环境对（模拟的野外或自然环境）大鼠视觉皮层突触结构的影响（参见 Greenough，1987）。

一些教育者和神经科学家试着在这些研究的基础上，提出这些研究对教育的深刻启示。他们断言：发展性的突触发生期是在生命的头 10—12 年。这是突触密度和脑新陈代谢的提高期，是脑发育的关键期。此期间的儿童比人生中任何时期都要学得更快，更有效率。

这一论断演变出众多版本，其中有一些非常极端，却在教育界和政策界保 45

持着相当高的可信度。这只是因为，一些神经科学家明确主张、暗示或者假定他们的研究可以得出这样的启示（Bruer，2002）。

比如，Kandell 和 Schwartz（1991）对生成或维持视觉优势柱的关键期进行了探讨，并说明了这些关键期可能是脑发育的普遍特征。这也许可以解释“为什么要想发展某些能力，比如语言、音乐或数学能力，必须在青春期之前使其得到充分发展”……（p. 957）在论证下述假设，即高突触密度期是学习特有的一个时期时，Peter Huttenlocher 写道：“数据显示，突触修剪的年龄和脑可塑性的下降之间有良好的相关，尤其是在较简单的系统，如视觉皮层中”（Huttenlocher，2003）。美国心理健康研究所（National Institute of Mental Health）的一篇新闻稿提到，Giedd 等人（1999）的脑成像研究可以显示出青少年脑发育时的白质变化，这篇新闻稿暗示着这种变化同样可能是学习的关键期：“虽然科学家仍不知道如何解释这种观察到的变化，但这些变化却十分类似于生命早期发生的修剪过程，这一过程似乎遵循着‘用进废退’（use-it-or-lose-it）的原则：得到练习的那些神经联结或突触会保留下来，而得不到练习的那些联结或突触就会退化掉。至少，这可以从动物视觉系统发育的研究中看出。”（美国心理健康研究所出版物）Max Cynader 曾说：“视觉皮层为我们了解早期脑感觉刺激物对一生脑神经回路和脑功能的影响提供了一个最佳的模型系统”（Cynader，2000）。

这一融合性的“心理—脑—教育”研究项目首先要提出的问题是：视觉系统真的是这种最佳模型吗？这一项目是否能对毕生学习有所启示？答案很简短，“不。”

Harry Chugani 对 Chugani 等人的解释（1987）是对下列事实的最著名例证，即过分依赖发展性神经生物学，会得到对教与学的错误启示。Chugani 相信，发展期的突触密度和新陈代谢率的提高“是生理性的‘机会窗’，此时的学习效率高且易于保持……”（Chugani，1998）

1988 年 Chugani 等人的研究使用 PET 测量了静息状态下不同脑区葡萄糖代谢量的变化，被试的年龄从婴儿期到成年早期不等。图 3.1 中的实线表明了在前额叶发育的过程中所观察到的葡萄糖摄入量的变化，而前额叶是最后一个完成发展性突触生成和修剪的脑区。

46

这一脑区在 2—11 岁之间产生葡萄糖摄入量的增长。作者断言，之所以会产生葡萄糖摄入量的增长，是为了在发展性突触生成期维持突触密度的升高。那么，这应该是对与前额叶皮层有关的任务进行学习的关键期或生理性的机会窗。因此，在这一时期，儿童在习得这些任务时应该能表现出某种优势。

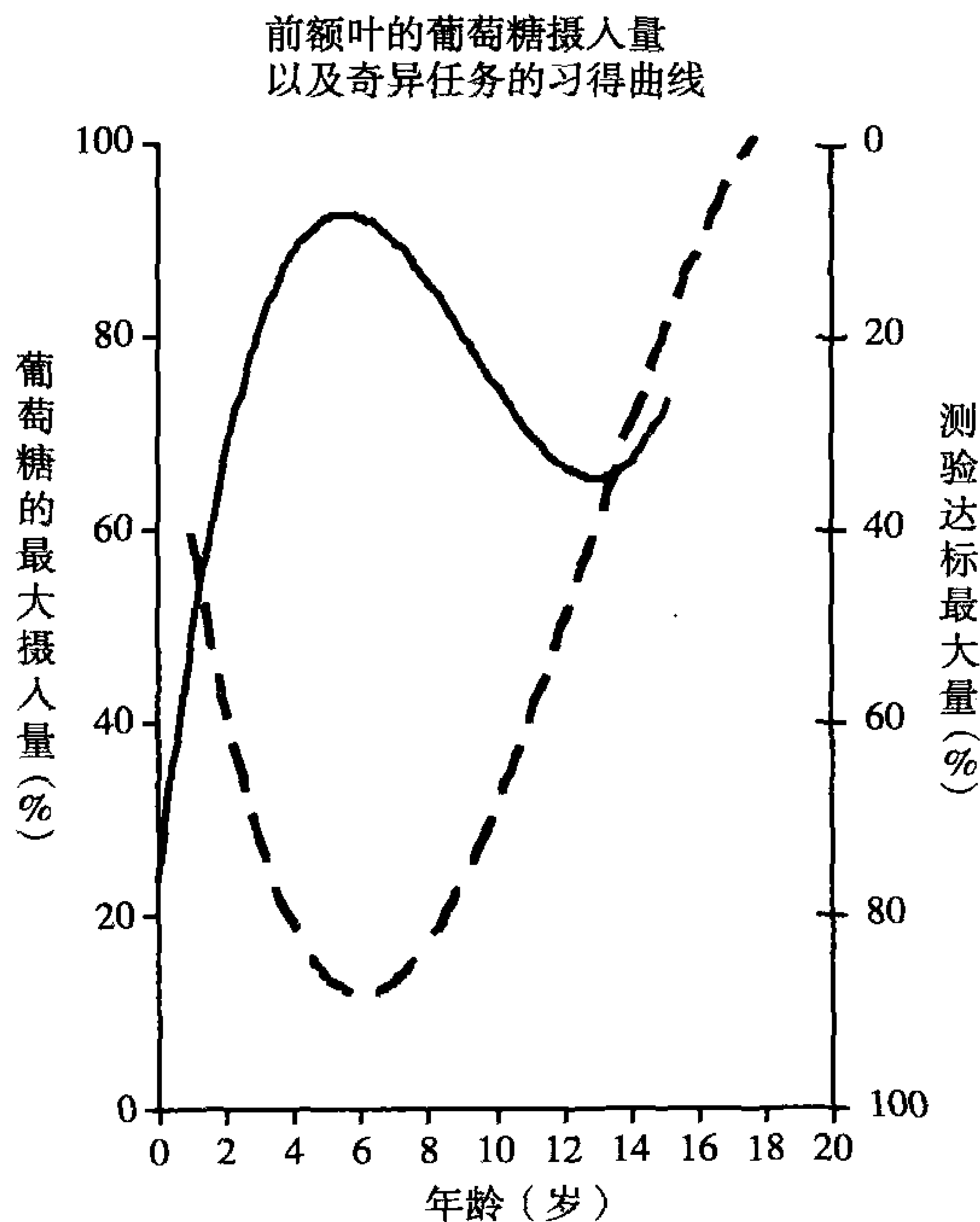


图 3.1 实线表示 Chugani（1987）所说的，在整个生命过程中，葡萄糖最大摄入量的百分比。虚线表示 Overman（1996b）所说的，在习得一组奇异任务时，测验达标的最大概率。转引自 Journal of Experimental Child Psychology，62（2），Overman，W. H.，Bachevalier，J.，Miller，M.，和 Moore，K. "Children's performance on 'animal tests' of oddity：Implications for cognitive processes required for tests of oddity and delayed nonmatch to sample，" 233-242，版权（1996）得到许可。

但已有的行为证据并不支持这一论断。比如，Overman 等人（1996b）对 15 个月到 20 周岁的被试进行了一组奇异任务的训练——通常假设这一任务是建立在前额叶皮层基础上的。他每周有 5 天对被试进行测验，每天 15 次，直到被试的正确率在连续两个测验日均达到 13/15 这一习得标准（最多接受 1 500次训练实验）。

47

不同年龄的被试在习得这一任务时的快慢和成效怎样？图表 3.1 的虚线回答了这一问题。虚线显示了被试训练达标的任务数量随年龄变化的情况。需要的试验次数越多，学习就越难，效果就越差。图 3.1 的右边，学习曲线在 Y 轴上被反转了。随着学习曲线的下降，学习也下降；随着其上升，学习也上升。对奇异任务来说，学习的容易度和前额叶的葡萄糖摄入量呈负相关。随着大脑新陈代谢率的上升，学习下降。随着大脑新陈代谢率的下降，学习上升。而且，在前额叶葡萄糖摄入量稳定在成熟水平后，学习仍会持续上升。

这个结果并不是孤立的。成年猴子和成年人在习得延时不匹配抽样任务时，比不成熟的被试要快（Bachevalier & Mishkin，1984；Overman，1990）。成人在学习空间导航任务时，也比幼童要快（Overman et al.，1996c）。成年人和成年猴子在学习辨别任务时，同样比不成熟的被试要快（Overman，Bachevalier，Schumann，& Ryan，1996a）。在视觉系统发展性神经生物学的基础上对其进行简单的推论，与通过行为研究发现的生命全程的学习难易和效率，显然是不一致的。

这种简单化的推论与认知心理学家在过去40年间对学习和记忆的研究成果也不一致。认知心理学的研究已证实，被试的先前知识是学习快慢和效率的最强有力的决定因素（参见 Pressley & McCormick，1995，Ch. 4，pp. 84－109）。学习的难易和效率建立在先前经验的基础上，而非年龄或（在限定范围内）脑成熟的基础上。

Means 和 Voss（1985）研究了先前的学习和经验如何影响人们对故事的理解。研究中使用的故事是电影《星球大战》（*Star Wars*）三部曲。在他们的研究中，新手被定义为看过该电影至少一次，但不超过三次的被试。专家则是看过该电影四次以上的被试。被试的年龄横跨7岁（小学二年级）到19岁（大学）。因此，本研究的被试同时涵盖了所谓学习的生物窗（考虑到这个神经生物学故事的性质，其生物窗大约在十一二岁）内外的个体。Means 和 Voss 的研究结果显示在图3.2中。

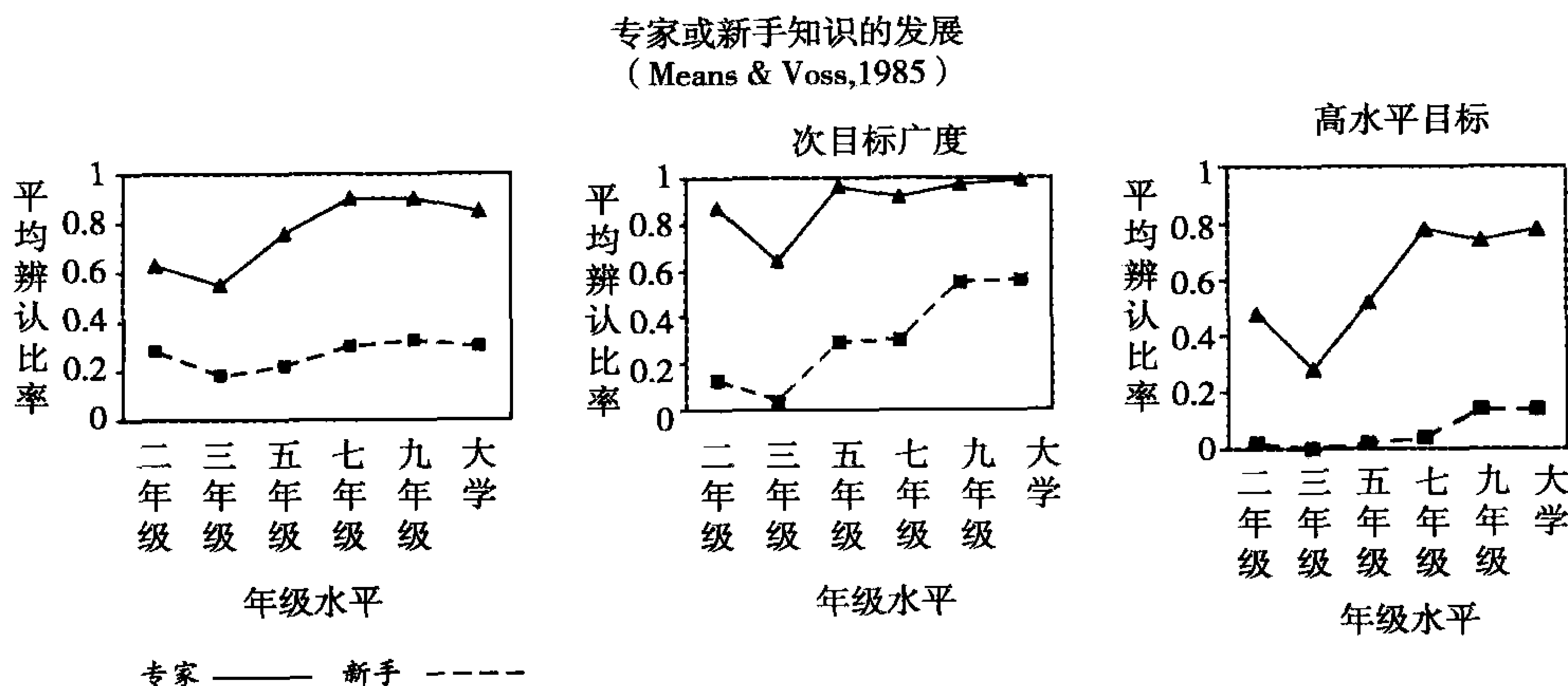


图3.2 Means 和 Voss（1985）运用对故事理解的三种不同的测量方法说明，各年龄段的专家都比新手要学得多，且对专家和新手来说，学习和理解均随年龄的增长而增长。转载自 Journal of Memory and Language，24，Means，M. and Voss，J.，"Star Wars：A developmental study of expert and novice knowledge，" 746-757，版权（1985）得到西文期刊数据库（Elsevier）的许可。

在本研究使用的三种学习任务中，任何年龄的专家都要比新手学习得多。更切题地说，专家和新手的学习都会随着年龄的增长而增长。在4—10岁之间，学习的容易度和效率并未达到顶峰。事实上，被试似乎在十一二岁时才达到成熟的学习水平，并在成年期保持或者超越这一学习水平，即在“生物学上的机会窗”关闭之后。

心理学研究已经证实任何年龄的经验都至关重要。任何在大脑成熟时间表及学习难易和效率之间建立起来的简单联系，都与我们已知的各年龄段先前经验影响学习的方式不一致。也许发展性神经生物学最终是要协助解释心理科学中已发现的终身学习问题（参见Koizumi，本书）。无论如何，如果脑科学现在还不能解释心理学的这些基础性研究结果，那么神经科学研究者的论断以及他们的研究对教育的启示至少应该与现有的行为科学的研究结果相一致。

任何“心理—脑—教育”方面的研究都应该用批判性的、跨学科的眼光来看待发展性神经科学的论断——视觉系统及其关键期是解释终身学习的最佳模型。也许问题仅仅是，神经科学家并未看到认知和教育心理学已经取得的成果。综合性研究项目的一个优势是，可以鼓励认知科学研究者与脑科学研究者之间的对话，从而使他们的研究、假设和推断可以与学与教方面的基础研究成果相调和、相制约或相一致。

认知模型和教育

教育研究者和课堂教师都乐于解决阅读、数学、科学教学和社会研究中出现的教育问题。对此类问题，认知心理学已提供了答案（Bruer，1994）。认知心理学试图理解学习领域中专业知识与技能背后的心理表征和加工过程。专家表现出的认知模型使心理学家能解释该领域的专业知识与技能，也使教育家能辨别出某学科的学习困难学生到底缺乏哪些知识和加工过程。辨别出特定的缺陷，有助于设计课程和教学材料来弥补这些缺陷。

学习初等算术这个例子，可以很好地说明认知模型是怎样促进学习的。为什么一些小学儿童无法掌握初等算术？

从20世纪60年代中叶开始，认知心理学家就发现，儿童运用先前对计数和比较大小的理解，形成了解决简单算术题的策略，如4+2。（请参见Bruer的综述，1994，Ch. 4，pp. 81-126）对4+2来说，五六岁大的孩子基本上都能确定4比2大，因而从4开始往后数2个数字就可以得到答案：“4，…，5，

6。”心理数轴（Mental Number Line，MNL，图 3.3）提供了一种知识和加工的认知模型，这种模型可以促进该策略的产生。

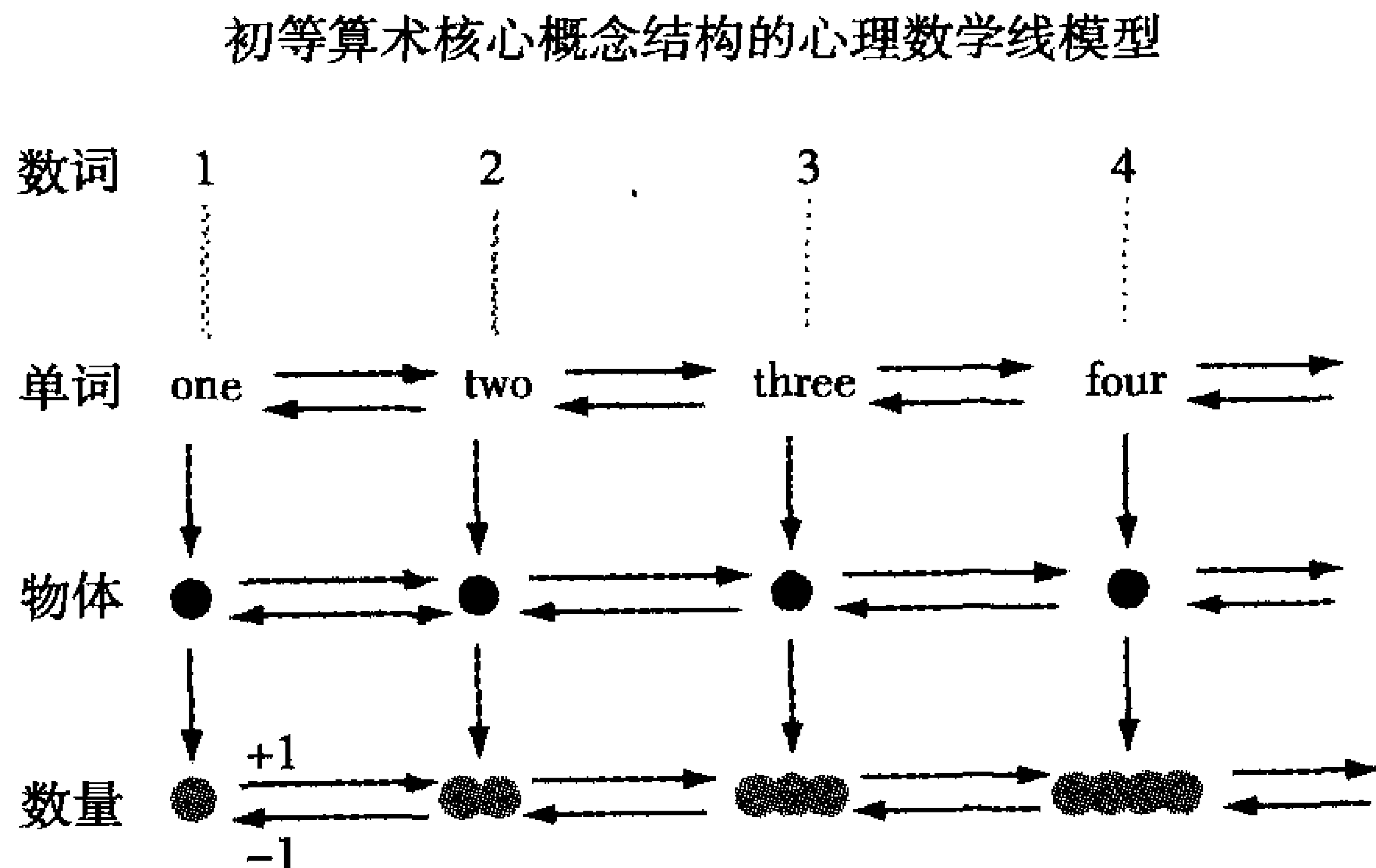


图 3.3　心理数轴为学习初等算术的概念知识提供了一个认知模型。儿童必须认识数词，并知道怎样用数词去标记物体和正确计数，知道数词可以为从左到右依次增长的数量命名，以及阿拉伯数字是指代数量的书写符号。

要想形成这种策略，儿童必须知道，计数需要将被数物体和序数名称一一对应起来，随着人们按顺序计数，每一个数字名称都是比前一个数字名称多一个数量。随着人们在心理数轴上从左数到右，数量会越来越大。而且，阿拉伯数字也能指代数量。

Case，Siegler 和 Griffin 在这种认知模型的基础上，开发了一种数字知识测验（Number Knowledge test），以评估儿童在特定年龄都能习得哪种算术加工和数字知识。（Griffin，Case，& Siegler，1994）。为使测验标准化，他们在美国和加拿大对众多学生团体进行了测验。他们出乎意料地发现，习得这些基本的数字技能，不仅依赖发展的时间进程，而且还依赖社会文化因素。来自低社会经济地位家庭的孩子在获得这些能力时，往往比中等家庭的孩子更慢。比如，在数字知识入学测验中，低社会经济地位的 6 岁儿童与中等家庭的 4 岁儿童的表现相似。在比较数量大小及解决简单的心算问题，如 4+2 时，能力上的区别最显著。比如，中等家庭的儿童在进入幼儿园时，解决这种简单问题的正确率就能达到 72%，而相比之下，低社会经济地位的儿童只能达到 14% 的正确率。

但好消息是，“正确起点”课程方案就是以这种盛行的认知模型为基础的，它包括对计数、比较以及与心理数轴有关的概念结构的直接教学，并能解

决这些学习问题。在一年“正确起点”课程方案的教学后，那些曾被数字知识测验甄别为初等算术有不及格风险的孩子，达到了中等水平控制组孩子的算术成绩水平。这只是一个例子，但可以说明教育者为什么最好将认知心理学看作是应用性学习科学的基础科学。其实，我们在所有年级的课程中都可以找到一些例子（Bruer，1994）。

认知神经科学和认知模型

过去，认知模型以认知心理学家和发展心理学家的行为研究为基础。但是最近10年来，鉴于心理—脑交叉研究的影响，其他基于脑的证据资料也给认知模型带来了启发。Dehaene（1992，本书第十四章）详尽地回顾了这些新的证据资料如何与行为证据进行整合，从而促进我们对数量认知的了解。对于以专家—新手的研究和发展性研究为基础的认知心理学研究来说，Dehaene又为其增添了一些新的证据。这些证据有的来自对动物数量感的研究，有的来自对大脑表征和加工定位有所启发的神经损伤研究，还有的来自为基本认知加工寻找神经机制的脑成像研究。心理—脑—教育这一整合性研究项目的目的应该是探索这些证据资料如何才能形成更加完善的认知模型，进而可以在这种模型的基础上更好地构建教学。

Dehaene关于数量认知的认知神经科学研究可以很好地证明这种研究项目所能作出的贡献。心理数轴模型（参见图3.3）提出了一个内隐的假设。它假设人脑中存在着一个单一的抽象数量表征，以及指代这些数量表征的数词和阿拉伯数字。认知心理学家们曾经争论是否真的存在这样一个共同的抽象数量表征？有没有可能数词和阿拉伯数字分别与不同的内在数量表征相联系？

Dehaene和他的同事们在ERP和fMRI（Pinel et al.，2001）研究中，使用数量比较任务回答了这一问题（Dehaene，1996；Pinel et al.，2001）。他们先给被试呈现一个数词（EIGHT）或阿拉伯数字（8），然后让被试判断输入符号所指代的数量比5大还是比5小。他们发现，在数字比较任务中，特定的脑区被激活，而且对数词和阿拉伯数字来说，激活的脑区是一样的。脑成像记录的数据也一致表明，正如心理数轴模型的假设所表述的，存在一个共同的抽象数量表征。除了行为证据，成像研究还为下列问题提供了趋于一致的证据，即一个完整的数量认知模型应当包含何种表征和加工。

类似的证据汇集在一起，共同支持了Dehaene的数字认知三重编码模型（参见图3.4）。

52

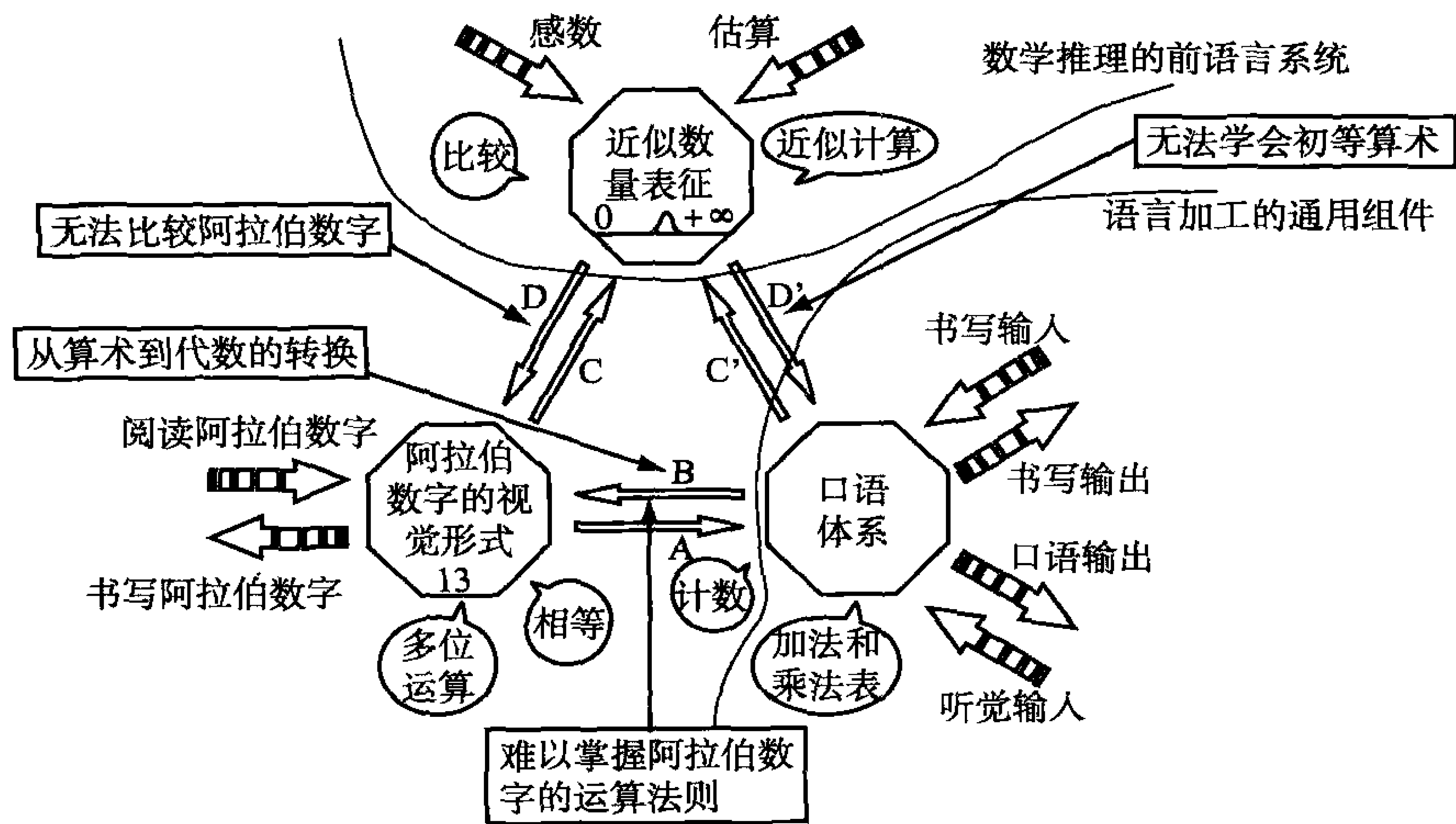


图 3.4 Deheane（1992）的数字认知三重编码模型向我们展示了，为何把特定的数学学习障碍看作整合数字表征的困难或失败。转载自 Cognition，44（1-2），Dehaene，S.，"Varieties of numerical abilities，" 1-42，版权（1992）得到西文期刊数据库的许可。

这一模型假设，我们有三种不同的数字表征：字形表征（数词）、视觉数字形式表征（阿拉伯数字）以及前语言的近似数量表征。这一模型认为，我们能对这些心理编码进行两两相互转换，而且特定的数字运算或加工总与这种或那种数字表征相联系。多位运算和相等判断引起阿拉伯表征。计数和回想加减事实引起数词表征。比较和近似计算引起数量表征。

53

这种层次的认知模型提供了一个统一的结构，有助于解释在习得数量技能时那些看似"孤立"的学习问题或看似"一般"的学习失败。它有助于我们认识到先前在数字领域中对学习的认知研究是如何与这三种基本数字表征联系起来的。Case 和 Griffin 的研究显示，儿童在将数词与数量建立联系时存在困难。Resnick（1982）的研究发现，在阿拉伯数字的书写运算规则与数词的计数程序之间建立联系时，儿童常常觉得很困难。Nathan 等人（2000）揭示了教学上与直觉相反的结果，即儿童先前对口头数字表征的理解促进了符号表征的习得。学生先前对口头表征问题的理解有助于其转向符号表征的运用。而从计算问题的解决到代数问题的解决，恰恰需要这种转换。适宜的数字认知模型有助于将教学困难看作儿童无法在学前就有的数字表征与教学所要形成的表征之间建立联结。

另外一个例子是，认知神经科学有助于在熟练阅读方面形成更加完善的认

知模型。阅读的基本技能是将单词的印刷表征（正字法）加工为它们的口语表征（语音系统）的这种能力。认知心理学提出了两种不同的基本认知模型来解释这一技能（参见图3.5）。

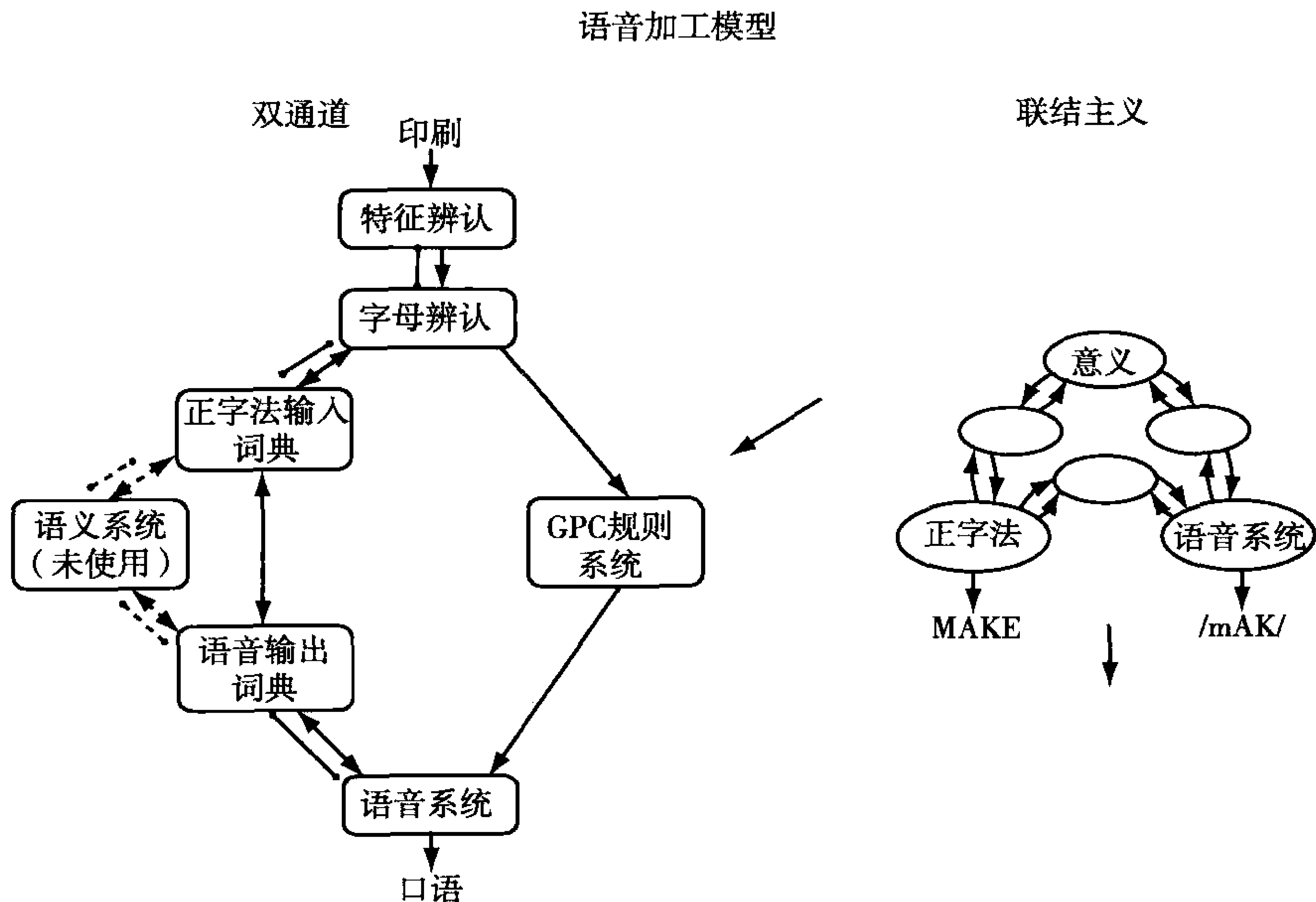


图3.5　熟练阅读的两种具有竞争力的语音加工认知模型。图中箭头是指，那些Fiez等人（1999）提到的与左额叶激活有关的模型成分。转载自Neuron，25，Fiez，J. A.，Balota，D. A.，Raichle，M. E.，和Petersen，S. E. "Effects of lexicality，frequency，and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading，" 205-218，版权（1999）得到西文期刊数据库的许可。

双通道模型（The Dual Route model）提出，至少可以用两种方式将印刷词认出来。第一种，对熟悉的单词来说，读者可以将印刷字符串转换为视觉编码，然后可以将这种视觉编码映射入包含读者熟悉的单词的心理词典。或者，第二种，对不熟悉的印刷词来说，读者可以用语音对字符串进行再编码（"将它读出来"），并将这一编码匹配于那些和他们心理词典中出现的语音类似的已知单词。联结主义模型（Connectionist model）则不存在词典，而是当读者在看某个字符串时，联结主义网络单元被激活，然后这种激活蔓延到表征语音和语义信息的其他单元，最终使读者能辨认出该单词。

为了研究这种技能并测量他们的认知模型，心理学家比较了被试在认出不同的印刷词在词汇性（词vs非词）、频率（常用词vs不常用词）及拼写—读音一致性（如，lint vs pint）等方面的不同反应时。研究发现，被试认出词比

非词快，认出常用词比非常用词快。另外，当要求被试大声读单词时，认出一致的单词要比不一致的单词快。在频度和一致性两因素间还有交互作用。被试读低频不一致单词（如，pint）要比读高频不一致单词（如，have）及高频一致单词（如，gave）慢得多。双通道模型和联结主义模型都与这种坚实的行为结果相一致（还可以参见本书 Goswami，Petitto，& Wolf）。

认知神经科学家正在寻找认知加工的神经机制。在一项脑成像研究中，Fiez 等人（1999）确定了大脑左内侧额叶区，该部分的激活与行为上的数据相一致。比如，由于词频和一致性之间有交互作用，当被试读低频不一致的单词时，该部分就会出现高度的激活。

55

这一结果是否又为我们提供了一个支持这两种认知模型之一的证据？不是的。这两种模型，以及左内侧额叶的激活，都与行为上的数据相一致。对双通道模型来说，左额叶区的活动与我们用字母和读音知识“读出”可发音的非词时使用的加工通道所涉及的脑区相一致。而对联结主义模型（无词典）来说，该脑区的激活与该模型所例示的将正字法转换为语音的隐蔽层相一致（参见图 3.4 中的箭头）。

尽管如此，当将其他一些类似的脑成像和神经心理学数据也带入我们的讨论中时，就更加有趣了。这些数据显示，在不要求正字法转换为语音的语音任务中，左额叶区被激活了（如，保持言语工作记忆中的项目）。而其他基于脑的数据则显示，在确实需要语音加工的语音任务中，如被试读高频词时，左额叶区却并未活动。因此，左额叶内侧区有比双通道模型和联结主义模型所认为的“专司阅读”的更普遍的功能；但在另一方面，它也有比语音加工更加专门化的功能。因而，Fiez 等人（1999）得出结论，当充分考虑行为、神经心理学以及脑成像的数据时，任何一个模型都不足以解释数据。由此，认知神经科学研究者建议，我们必须完善我们的认知模型。

我们怎样才能做到最好？Franck Ramus（2001）论证说，最好的模型修改策略，可能是让认知心理学家和认知神经科学家严肃地对待语音学——一门已经确立的成熟的行为科学。语音学在词汇和亚词汇水平上提出了表征和加工等级理论，而这些水平可以用于解释我们怎样使用语音模式去传递意义。到现在为止，对于“语音学如何修正单词识别的模型”的问题，认知心理学家和神经科学家都仅仅触及了这一问题的表面。

根据 Ramus 的建议，一般的神经教育学研究策略最好是尝试通过行为、神经心理学以及认知神经科学研究之间的循环互动来完善我们的认知模型（参见 Fischer，van Geert & Steenbeek，本书）。这样一个项目最终将对教育产

生启发。比如，我们认为，语音缺陷会导致失读症。但是，到底哪种特异性的语音缺陷是原因呢？

结论

我已尽力为这一整合的心理—脑—教育研究项目提供了一些准则或原则。 55 另外，我在该话题的首篇文章中，采用了搭建桥梁的隐喻。那个隐喻在这里也同样适用。我们必须在发展性神经生物学与学习科学之间搭建一座更好的桥梁。这将要求我们对下述问题进行讨论，即在整个生命历程中，视觉系统在何种程度上为学习及其神经可塑性提供参照。我们应该意识到，认知心理学和教育之间，目前已经存在着一座缺少沟通的桥梁。最后，我们应该了解，认知神经科学怎样才能帮助我们在心理和脑科学之间搭建桥梁，怎样才能帮助我们完善认知模型。在行为科学家、认知科学家和神经生物科学家之间，必须有一种互动的、循环的交互作用。记住，我们是在搭建桥梁，而不是在寻找基础。

参考文献

Bachevalier, J. and Mishkin, M. (1984). An early and a late developing system for learning and retention in infant monkeys. *Behavioral Neuroscience*, 98 (5), 770-778.

Bailey, D. B., Bruer, J. T., Symons, F. J., and Lichtman, J. W. (2001). *Critical Thinking about Critical Periods.* Baltimore: Paul H. Brookes Publishing Co.

Bruer, J. T. (1994). *Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom.* Cambridge, MA: MIT Press.

(1997). Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, 26 (8), 1-13.

(1999). *The Myth of the First Three Years: A New Understanding of Early Brain Development and Life Long Learning.* New York: The Free Press.

(2002). Avoiding the pediatrician's error: how neuroscientists can help educators (and themselves). *Nature Neuroscience*, Nov. 5, Suppl., 1031-1033.

Chugani, H. T., Phelps, M. E., and Mazziota, J. C. (1987). Positron emission tomography study of human brain function development. *Annals of Neurology*, 22, 487-497.

Chugani, H. (1998). A critical period of brain development: studies of cerebral glucose utilization with PET. *Preventive Medicine*27, 184-188.

Cynader, M. (2000). Perspectives: neuroscience. Strengthening visual connections. *Science*, 287 (5460), 1943-1944.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44 (1-2), 1-42.

(1996). The organization of brain activations in number comparison: event related potentials and the additive-factors method. *Fournal of Cognitive Neuroscience*, 8, 47–68.

Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E., and Petersen, S. E. (1999). Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-consistency on the functional anatomy of reading. *Neuron*, 25, 205–218.

Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., and Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2 (10), 861–863.

Greenough, W., Black, J. and Wallace, C. (1987). Experience and brain development. *Child Development*, 58 (3), 539–559.

Griffin, S. A., Case, R., and Siegler, R. S. (1994). Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure, In K. McGilly (ed.). *Classroom Lessons*, (pp. 25–50). Cambridge, MA: MIT Press.

Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes of ageing. *Brain Research*, 163, 195–209.

(2003). Basic neuroscience research has important implications for child developmen. *Nature Neuroscience*, 6 (6), 541.

Kandell, E. and Schwartz, J. (1991). *Principles of Neural Science.* New York: Elsevier.

Lund, J. S., Boothe, R. G., and Lund, R. D. (1977). Development of neurons in the visual cortex (area 17) of the monkey (Macaca nemestrina): A Golgi study from fetal day 127 to postnatal maturity. *Fournal of Comparative Neurology*, 176, 149–188.

Means, M. and Voss, J. (1985). Star Wars: A developmental study of expert and novice knowledge structure. *Fournal of Memory and Language*, 24, 746–757.

Nathan, M. J. and Koedinger, K. R. (2000). Teachers' and researchers' beliefs about the development of algebraic reasoning. *Fournal of Research on Mathematics Education*, 31 (2), 168–190.

NIH Publication No. 01–4929 NIMH Press release Child and adolescent mental health information at www. nimh. nih. gov/publicat/childmenu. cfm.

Overman, W. H., Bachevalier J., Schuhmann, E., and Ryan, P. (1996a). Cognitive gender differences in very young children parallel biologically based cognitive differences in monkeys. *Behavioral Neuroscience*, 110 (4), 673–684.

Overman, W. H., Bachevalier, J., Miller, M., and Moore, K. (1996b). Children's preformance on "animal tests" of oddity: Implications for cognitive processes required for tests of oddity and delayed nonmatch to sample. *Fournal of Experimental Child Psychology*, 62 (2), 223–242.

Overman, W. H., Pate, B. J., Moore, K., and Peuster, A. (1996c). Ontogeny of place

learning in children measured in the radial arm maze, Morris search task, and open field task. *Behavioral Neuroscience*, 110 (6), 1205–1228.

Overman, W. H. (1990). Performance on traditional matching to sample, nonmatching to sample, and object discrimination tasks by 12–to 32-month-old children. A developmental progression. *Annals of the New York Academy of Science*, 608, 365–385.

Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D., and LeBihan, D. (2001). Modulations of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. Neuroimage, 14 (5), 1013–1026.

Pressley, M. and McCormick, C. B. (1995). *Advanced Educational Psychology for Educators, Researchers, and Policymakers.* New York: Harper Collins College Publishers.

Rakic, P., Bourgeois, J. P., Eckenhoff, M. F., Zecevic, N., and Goldman-Rakic, P. S. (1986). Concurrent overproduction of synapses in diverse regions of the primate cerebral cortex. *Science*, 232 (4747), 232–235.

Ramus, F. (2001). Outstanding questions about phonological processing in dyslexia. *Dyslexia*, 7 (4), 197–216.

Resnick, L. B. (1982). Syntax and semantics in learning to subtract. In T. P. Carpenter, J. M. Moser, and T. A. Romberg (eds.). *Addition and Subtraction: A Cognitive Perspective.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

第四章

心灵、脑与意识

Fürgen Mittelstrass

概述

哲学家们十分关心的一个问题是，如何将哲学思想与科学理论研究相联系。哲学与心理学有着共同的历史根基，对意识这类的一些重要问题，两个学科都从不同的视角进行了研究。在这个领域中，生物学特别是神经科学也在以一种不同的视角另辟蹊径。Mittelstrass 认为，心理学中许多还原主义的解释方法都失败了，行为主义就是一个例子。认知神经科学会遇到同样的障碍吗？不管怎么说，当代哲学家们大多支持以二元论的方法去研究心灵—脑关系，然而科学家们却普遍青睐一元论的观点。当然，这些选择有他们本身的理由，但是脑成像技术的广泛使用经常给人们带来这样一个假设，即心灵的状态不过是可以用脑局部代谢水平来描绘的神经生理活动而已。Vidal 在第二章中所说的"脑格"是一种较为极端的观点，他认为个人可以完全定义为其脑。另一个富有成效的观点可能是一种实用主义的二元论，在重视科学理论概念的同时维持二元论的视角。

——编者

60 心灵与肉体、脑与意识的关系问题如今不仅是科学研究的焦点，也是哲学研究的焦点。它们也曾经一度陷入我们所谓的笛卡尔二元论的"遗留问题"之中，那是在现代思想刚刚发端的时候。其形式是心灵与肉体的关系问题——

如果引用笛卡尔的命名法，即是思想之物（res cogitans）与广延之物（res extensa）的关系问题。从某种意义上来说，这可以看作是一种新的思想出现时的分娩阵痛。今天，我们回望这个起点并试图将其理解为哲学的一种崭新的取向。而我们也前瞻未来，我们将看到这些问题以一种比早期现代思想中更鲜明的方式来决定科学与哲学的共同未来。其中心灵与脑的关系问题尤其如此。现代脑科学的未来大半取决于此，同时，未来哲学思想中的一个重要成分看起来也取决于此。

在下文中，我将以稍精确的方式来描述这个共同未来。我的讨论将以我与Martin Carrier共同提出的一些思想作为引领，我们将其称为“实用主义二元论”（Carrier & Mittelstrass，1991；另见Mittelstrass，1998）。这个概念试图以一种建设性的方式来协调在哲学研究中占统治地位的二元论与在科学研究中（也包括科学取向的心理学中）占统治地位的一元论。这一尝试包括四个部分，我将从简要回顾心灵—肉体关系问题的发展史开始谈起。它起源于希腊哲学思想，也就是我们所说的灵魂—肉体关系问题。

心灵—肉体关系问题的发展历程

在将物质属性归于灵魂之后，遵循万物有灵论的传统——即灵魂是生命的呼吸，死亡时即离开身体——柏拉图区分了灵魂的三个部分，强调了其非物质性、先在性与不朽性。这三个部分是：思想灵魂或称理性灵魂、激情灵魂或称勇敢灵魂，以及欲望灵魂。这种三分法受到市民的三个等级（统治者、守护者、劳动者）的启发，这些等级应该从它们与灵魂三个部分的一一对应中获得生物学上的确证。柏拉图进一步划分了作为自我运动原则的灵魂（或生命）与（有些情况下）由此原则所策动的“赋予灵魂”的事物。亚里士多德的观点则有些不同。他将灵魂分为植物灵魂、动物灵魂与理性灵魂，植物灵魂即是物质吸收与生殖的能力；与之相比，动物灵魂则拥有感觉—知觉、欲望与运动的能力；理性灵魂则是理论和实践理性的“承载者”，它又可以划分为主动与被动两部分。根据亚里士多德的说法，灵魂是“器官性肉体的第一实体或实在”，灵魂使得肉体活动，并随肉体的死亡而消亡。

奥古斯丁的哲学传统强调的是灵魂不同部分间的真正区分，而托马斯·阿奎那（Thomas Aquinas）与托马斯（Thomistic）哲学传统则坚持认为灵魂是一个统一体，因此，中世纪哲学摆脱了柏拉图与亚里士多德对灵魂特征的描绘。虽然这次是在基督教的环境之中，但是灵魂的不朽性又一次起了决定性的作

用。一方面，人们引入了超个人的、不朽的灵魂的观念，这种观念不同于个人的、可死的灵魂；另一方面，这种主张认为，这种灵魂等同于个人的灵魂，因为后者是物质肉体的一种实现方式，它也终将随着肉体而死去。现代思想的萌芽导致了灵魂的构想，使得所谓的理性心理学成为哲学的一部分。

61 心灵—肉体问题在现代的发展历程起始于17世纪笛卡尔的二元论。在这一理论中，起自亚里士多德并由中世纪思想所继承的肉体灵魂统一性问题在物质与思想的平行世界解决了："我们称一些行为为肉体的，如大小、形状、运动……它们所属的实体我们用肉体来指代。……另一些我们称其为思想的行为，如理解、意愿、想象、感知觉等：它们都属于日常概念中的感觉或知觉或意识，我们把它们所属的实体叫作**'思物'** （thinking thing）或**'心灵'**（mind）"（Descartes，1964-1974，VII，p. 176）。这一思想成为后来所有关于心灵与肉体关系的理论基础，尤其是意识（consciousness）的基础。为了忠于我自己的哲学研究，我将集中讨论这一观点，以免越俎代庖，偏离到医学或生物学上去。当哲学家说到心灵—肉体关系问题的时候，他们所说的一般是柏拉图理论中负责思考的那一部分灵魂，换句话说，他们所说的就是意识。

正如我在前面提到的，在哲学中，心灵—肉体关系问题常常被说成是"遗留问题"，因为它来自笛卡尔的双实体形而上学。这种二元论形而上学使得心灵与身体、物质与意识如何互动这一问题变成了一个巨大的谜团——这也就不可避免地吸引了哲学家的注意。最初哲学上对该问题的一些"解决方法"在本质上都是二元论的，笛卡尔考虑了当时人们所提出的大量批评而提出的一个解决方法就是其中之一。也就是说，他们对存在两个明确区分而又相互独立的领域这一假设进行争论，换句话说，就是心灵与肉体、物质与意识的二元性假设（从严格的系统性观点出发，我们必须在当时的历史背景中区分灵魂—肉体问题、心灵—肉体关系问题，或称意识—肉体关系问题与物质—生命关系问题）。笛卡尔本人就十分犹豫不决。一方面，他宣扬交互主义理论，认为两个实体可以通过松果体进行器官上的交流（Descartes，1964-1974，XI，p. 180）；然而，鉴于这一假设存在着体系的不洽性，他又满足于日常经验的解释（笛卡尔学派在笛卡尔主义的理论框架中为心灵—肉体关系问题提供一个解决方法的尝试与后来在这个方向上的努力，还包括莱布尼茨与康德的努力，参见 Carrier & Mittelstrass，1991）。

62 在笛卡尔学派的哲学传统之中，这种不确定性体现在两种不同的"解决方法"上：一种是所谓的"流入理论"（influx-theories），它假设两个实体间存在某种物理互动；另一种是所谓的"偶因论"（occasionalism），它通过祈求

“偶然的”神的干预，或者（为了减少上帝的麻烦）通过寻求上帝引发的两种实体间的连续作用，来解释为何物理与非物理世界间会存在物理联系这一问题。第二种解决方法与莱布尼茨的心灵与肉体间的预设和谐（pre-established harmony）（顺便提一句，这个理论使得哲学中的灵魂免于落入过于简单的解答中），以及斯宾诺沙关于两种实体是同一个神体的不同属性的解释方式相联系。同时，这些尝试是后来身心平行论（psychophysical parallelism）这一思想的基础。例如 Sustav Fechner，Max Wundt 和 Ernst Mach 等人就曾用这种方法来解决客观—物理刺激与主观—心理感觉之间的经验性对应关系问题。

毫不奇怪，这类“解决方法”导致了一元论概念的出现。在一元论中我们可以举出经典的与现代的理想主义还原论［例如，英国理想主义者乔治·伯克利（George Berkeley）所提出的非物质论］和物理与唯物主义还原论。这类物理主义与唯物主义还原论的例子分别有行为主义和所谓的“同一论”（identity-theory）。行为主义眼中所有的思维现象都体现在行为中，而同一论则宣称思维事件与生理事件是彼此等同的。从这个观点来看，任何企图将思维事件看作是“外部”控制的，也就是说与神经学实体相脱离的观点都是向哲学朴素性的后退。对于所谓的副现象论（epiphenomenalism）来说，这一点也成立，至少它将心理状态与过程看作是物理或生理状态与过程的“副作用”，而物理和生理状态自身形成一个闭合系统，不受心理过程与状态的干预。

与二元论对立的这些一元论有时候会从新的信息理论取向中得到补充。信息理论将心理与思维过程看作复杂的数据交换过程，而心灵与肉体、物质与意识则被看作是不同的数据结构。脑被看作电脑。但这里，与刚才提到的一元论一样，我们清楚地看到，通过物理和心理状态与过程的经验联结，最初完全是哲学问题的心灵—肉体问题与神经生理学和心理学相互联系了起来。在心灵—肉体关系问题上，换句话说，在对哲学直觉的科学分析中，哲学的未来也似乎与科学的未来紧密地联系起来。但是这个理论还有争议，现代版本的二元论向我们表明了这一点。

自我与自我的脑

形形色色的还原论思想，包括科学思想，都有良莠并除之虞。在这里，问题在于当我们消除二元论矛盾时，我们可能在放弃了反思式与非臆测式的心灵—肉体关系问题同时，把意识这一概念也一同抛弃了。为了避免这一结果的

出现，一种尝试是 Popper 和 Eccles（1977）提出的反还原论的交互作用二元论，其核心内容是反还原论命题与现实主义命题（详见 Carrier & Mittelstrass，1991，pp. 144-125）。

反还原论命题主张现实世界中的不同领域，例如物理学、化学、生态学/社会学不能够彼此还原，这一主张应该从科学史的类比中得到支持性论证，并可以求助于一个演化式的“创造性论证”——从历史上讲，还原从未实现，而那些看起来像是还原的东西，本质上只是修正。而“创造性论证”则是指高级组织结构所带来的形态无法从低级的加工过程中进行还原。但若是仔细审视，这些理解并非无懈可击。而现实主义命题也是一样，它宣称存在三个世界：物理肉体的“第一”世界、心理状态的“第二”世界与“客观思维”的“第三”世界［这个世界已经在逻辑学家与数学家的作品中粉墨登场了(Gottlob Frege，1996)］。并且更进一步，这三个世界中的每一个就其本身来说都是真实的。这种把三个世界都描述成“真实”的理论主张它们可以同一种方式互相影响。而这对第三世界（即理论世界）和第二世界（即思想世界）的关系也必须成立，因为根据这个概念，从理论到思维的“还原”将不可能发生。

这种哲学困境使得 Popper 与 Eccles 不但主张心理与物理状态、事件与过程的二元独立性，反对一元论观点，也提出自我的自主性与自我的身份（或意识）与其表征相对立——“自我与自我的脑”这一说法即是这一思想的尖锐表达。而且，根据这一观点，脑从属于自我，而不是自我从属于脑。如果脑是“计算机”，那么自我就是程序员——自我是驾驭者而不是被驾驭者。Eccles 认为有自我意识的“我”、有自我意识的思维固着于第二世界，他把这一观点用神经生物学的语言表达了出来。根据他的假说，自我控制着并诠释着神经过程；它主动寻找它所关心的脑活动，并将它们整合成一个统一的、有意识的体验。它不断地扫描数量庞大的神经元之间的整体互动（“皮层模块”），而这些互动则对与第二世界（“联络脑”，liason brain）互动开放。在 Eccles 的中心命题中，有意识体验的统一性由有自我意识的心智来调节，而不是由神经的运转来调节。

但是从细节上来看，我们究竟怎样理解这个理论呢？也就是说，所谓的有自我意识的我或者有自我意识的心智与它的脑之间的互动究竟是怎么发生的？这个问题还是悬而未决，就像笛卡尔的理论一样。作为一个研究课题，这种二元论几乎没有走出经典理论发展的框框，尽管它被用一种神经生物学的语言表达了出来。与它的还原主义反对者们相比，这个课题可能更能引起人的共鸣；

然而在它自己的领域中，也就是在对神经生物学过程与状态的解释中，还未能证明它比还原论的各种理论更优秀。

同一论与实用主义二元论

与二元论（例如 Popper 与 Eccles 的理论）相对的是一元论。它认为神经生理学的状态和过程与心理状态和过程是完全等同的。但是这个观点也不能令人满意，因为它无法被物理法则所支持。这一理论并没有完成一元论式的还原，因为我们已经发现，处在问题一方的心理状态和过程与另一方的神经生理学状态和过程间并不存在一一对应的关系。而一元论式的各种理论恰恰倾向于建立在这样一种关系的基础之上，例如同一论，它认为从根本上分析，心理状态和过程与物理状态和过程是完全等同的。有人提出，当且仅当物理状态或过程 a' 可以被观察到时，心理状态或过程 a 才能存在。于是人们将一些感觉与脑某一区域的代谢活动（用磁共振成像观察）关联起来。但是，人们没有提出什么论证来证明两者是等同的。这很像是我们在使用精确校准的测量工具时所遇到的情形。在这两种情境下，我们都能找到测量工具与测量工具外部的某个状态之间的相关性。因此我们能说 MRI 仪器指示了质子的存在，但不能说仪器就是质子。类似地，云室中的轨迹显示了粒子的运动，但轨迹并不等同于运动。只有知识的匮乏才会导致我们（错误地）将每一对现象中的一个与另一个等同起来。简单地把一个理论中的术语转换成另一个理论中的术语并不足以保证等同性，因为还缺少相应规律之间的转换。因此，那些认为心理状态与过程已经被还原为神经生理学状态与过程的观点还言之尚早。

现在，同一论与一元论的支持者，可能会认可上面所说的所有问题，同时却仍能通过从事还原论课题来维持一元论。从科学的视角来说，这一课题有一个优势，就是它可以在没有哲学参与的情况下完成。但是，首先这可能并不是一个优势，其次我们也不确定什么可以给这个有前途的还原论课题设置严格的标准。引述其他领域中还原论的成功先例并不能给我们更多帮助。借维特根斯坦的话来说，它很像是哲学中的情形："哲学痼疾的一个主要病灶是偏食：人们总是用同一类例子来滋养他们的思想。"（Wittgenstein，1953，§593）。也就是说，人们总是引述物理学中还原论的成功，而忽略心理学中还原论的失败。行为主义式的还原研究应该让我们勒一下马。我们没有什么理由认为与之类似的神经生理学式的还原可以更成功。

说到这里，对各种知识概念进行诠释可能会有所帮助，即我们在用非还原

论的方式谈论人类行为时作为理论概念所使用的那些概念。理论概念即是指无法翻译为一种与理论无关的观察性语言的概念，换句话说，是指那些依赖于理论整体和实证充分性的概念。这并不意味着在具体情境下人们缺乏使用这些概念的合适标准。因此在心理学中也一样，人们必须根据某些行为指标来决定在给定情境中如何使用特定的理论概念，但这并不是说这些概念的全部就只是这些行为指标的加和。通过在我们的讨论中引出理论概念这一概念，我希望读者注意这样一个事实，即有效的科学概念的特点之一就是它们含有“言外之意”，换句话说，它们的意义可以延伸到其操作性内涵以外。它们是开放式的概念，其应用标准可以随着科学的发展而变化。而与之相反，看起来同一论者所追求的一元论式的还原把心理学概念限制在神经生理学指标上。而这一点，从科学哲学的角度来看，是20世纪20年代盛行的方式。为什么生物哲学要重蹈物理哲学的覆辙呢？

66 当然，这种论证源于科学哲学，它并非一个生物学或神经科学论证。关于意识或思维与神经生理学状态和过程的统一性这一本体论问题被转化成了一个科学理论的问题，即独立的心理学概念从原则上讲是否有效，或者我们是否应该回避它们。我和 Martin Carrier 认为它们是有效的，因此我们提出一种实用主义二元论。虽然我们提出了这个理论，但并没有进一步地支持实质性区分物理与心理状态和过程，只不过我们认为最好不要从一开始就否认这样一种区分的存在。用肯定的方式来说就是：独立的心理学（认知）概念可以从其**解释性价值**的角度得到辩护。在科学哲学中，涉及理论术语时，这些概念是否拥有本体论指向是一个基本问题，这个问题至今还在争论之中。但这就意味着我们不能在神经生物学这一个领域中假装它已经得到解决了。

从这个观点出发，还原论者认为，在二元论中，心灵作为 deus ex machina① 的角色十分让人难以信服，这种批评从方法论上来说是不成熟的。尤其是考虑到二元论与一元论双方都宣称我们对世界的描绘是一种建构时（Pöppel，1985，p. 66f.）。因为既然我们的这个描绘是如此，我们关于意识过程的生物学知识就理应也是如此。用其他的方式来表达就是：如果我们通常所知的每一件事都至少部分地来自脑的建构，那么生物学有关脑的知识如果不触及这种建构则不可能存在。

① 拉丁语。字面义为：来自机器的神，通常指突然出现的解围的人或事件，在戏剧中指冲突无法解决时硬生生出现的新人物、新事件，用以讽刺情节草率。用在此处是还原论对二元论的讽刺。——译者注

实际上很多神经生理学研究者们都持有这种观点，虽然他们自己在追寻一种本质上还原论式的研究，即试图用（还原论式的）规律公式与脑不同成分间的交互动因来解释感觉、意图性行为和意识这样的高级脑功能。因此神经生物学家 Otto Creutzfeld（1981）谈到了人脑的符号表征能力，从而强调符号既非神经系统的产物，也非神经系统本身，更不是世界本身。Creutzfeld 自己得出了一个二元论式的结论，在他的这句话中表达得很明确："即站在自身反面的二元论是意识的本质"（Creutzfeld，1981，p. 42）。这明显不是一个神经生理学论断，相反，这是一个哲学论断。从我们所说到的有关实用主义二元论的观点来看，这个论断并非无意义或肤浅的。下面这个陈述也是成立的，虽然需要一些限制条件：符号，即"脑对现实世界的符号表征，不仅指向世界，而且独立地形成了自己的世界；而我们的脑则持续地指向这个世界：思维的世界"（Creutzfeld，1981，p. 42）。或者说："没有哪一种还原主义理论公平地对待这种意识的精髓。它们都只抓住了一个方面，即脑机制，而没有抓住另一个方面，即符号世界。而正是因为有了符号世界，脑机能以及透过此机能的脑才得以面对自己。符号世界与现实世界一样真实"（Creutzfeld，1981，p. 43）。

"思维世界"、"意识的统一性"，这些表达方式渗透着经典哲学精神的气息，而不染现代科学哲学的相对冷静。然而，考虑到对**建构性**取向的强调，包括科学取向以及反对将脑机制与意识等同起来的还原论命题，它们与我在这里提倡的二元论是相容的。这一切中真正关键的部分不是思维再次凌驾于生物学之上，而是从方法论的角度澄清，从理论研究课题的角度来看待生物学实践。至于"意识的统一性"或 Creutzfeld 所断言的符号世界的"真实性"是否包含其中，则是一个次要问题。

意识与自我理解

到目前为止，我的讨论可能让你觉得只有当这类科学一理论问题被澄清之时，涉及意识与心灵—肉体关系的哲学任务才算完成。这样一来，Popper、Eccles 和 Creutzfeld 等人的说法就是对这些界限的不合理逾越。而这个说法对 Popper 与 Eccles 的交互作用二元论来说也可能会成立。但是这并不意味着哲学家的工作仅限于科学哲学这一领域。从哲学的观点来看，意识不仅仅是一个科学概念，事实上从历史角度出发很少有人会这样想。因此哲学并不限于分析科学所希望解释的那种"意识"。用 Creutzfeld 的话来说，没有人可以"否认我们的经验与反应是建立在这样的基础之上的，即神经系统有能力感受特定物

理刺激、把它们编码为一系列动作电位，再把它们转换成合适的肌肉运动系统序列。这给了还原论者们一个充分的解释”（Creutzfeld，1981，p. 33）。但从哲学的视角出发，这并不是意识最初的意义。

68 哲学家们不应奢望解决科学可以解决得更好的那些问题——也就是说那些被定义为科学的问题而非哲学的问题。他们的任务是在我们的自我理解、我们对环境的理解包括科学理解的所有领域中提供明晰性。在进行科学哲学研究时，他们就是在从事后者。这里，哲学特别的地方在于它通过**思考**来完成这样一项工作，而不是通过**研究**。当然这不是说研究不涉及思考，而是说哲学思考——从理论与实证方法来说——并不是科学所包含的那种研究。“意识”、“自我意识”、“自我”（ego），也包括“自我理解”都是在思考中与通过思考的具体哲学研究方法所关注的论题。而这一取向并非理性社会在日常生活与科学知识建立之余产生的一种文化奢侈品；而且它也不可能由科学本身产生。仅仅通过积累关于脑的科学知识，并不能回答苏格拉底关于人对自身与环境的正确理解的尖锐问题，甚至回答这个问题也不会变得更容易。这仍然只意味着我们（从科学上）相信，如果我们从神经生理学角度理解了自己，我们就能理解所有的事情。从这个意义上来说，我们所提倡的这种二元论不仅有**理论**意图，还有**实践**意图。

当然，这并不是在邀请所有哲学家像神经生理学和科学心理学从未存在那样继续大谈心灵、意识等问题。科学知识可以避免人们天真地将哲学观点看作科学研究的这种倾向。同样重要的是，我们要在涉及关于心灵—肉体问题的哲学语言上提醒自己，例如维特根斯坦就曾经批评哲学将使用精神概念的陈述与涉及精神世界实在性的陈述相混淆。

不幸的是，这种宣扬心灵—肉体问题是一个伪问题的观点（例如维特根斯坦的观点）并不是无懈可击的。这一观点是确信无疑的，那么我们就只能在胡思乱想与严格的科学之间作出选择。但科学描述了一个生活世界，在这个世界中主体很难认识自己：“世界通过感官向大脑展现自己”。它的统一性在这里就已经被打破成为多种现象形式，就每一个感官来说，它们只能感受有限的能量波谱：眼睛能感受称为“可见”光的有限的波长区域，触觉只能感受

69 长波热辐射与低频率机械震动，而嗅觉与味觉只能感受到很窄的有限区域中特定分子的浓度。于是，呈现给我们的世界便被限制在一个很小的物理与化学现象的区域内。这就是我们的生活世界（Creutzfeld，1981，p. 34）。

我们的生活世界真的是这样的吗？我在前文中所提到的关于实用主义二元论与现实的建构性的观点并不这样认为。而且，我们作为一种生物并不只是建

构我们所生活的世界，也建构着我们自己，因为我们拥有自我理解并活在其中。建构关于自我的科学知识，与建构一个人的自我理解是两码事。而后者是我们所说的意识含义中的一部分。在这种程度上我们可以同意 Popper 的说法："我们如何换取关于我们自己的知识？并不是靠自我观察……而是靠成为一个'我'，靠发展关于自我的理论"（Popper & Eccles，1977，p. 45）。如果我们从一个实际的、生活世界的角度来看，而不从一个科学—理论的角度出发，甚至"我"不属于脑，而是脑属于"我"这一陈述才是合理的。我们只要想象一下，一个人走到他的桌子前，告诉自己开始思考（例如他必须作一个关于心灵—肉体问题或意识问题的演讲）。科学知识有没有改变这一情境的复杂性？显然没有。当我们把自己描述为身体的主人，而脑属于身体的时候，我们很清楚我们说的什么意思。在这里，"科学"的解释，例如二元论与一元论所寻求的解释，反而显得肤浅了。

当然，这不应该导致哲学文化与科学文化之间老死不相往来，特别是当我们思考的是两者都试图解答的问题时。我们在这里多次引用了 Creutzfeld 的观点，以这样的说法作为他的结论："神经生理学的答案是哲学疑问的开始"（Creutzfeld，1981，p. 43）。这当然是对的，至少在这里是对的——因为很多哲学家假装他们了解那些他们实际上并不知道的科学知识。但是我们也可以说哲学家对问题的解答应该从科学中得到启发。否则，人们常常批评哲学的话（很不幸，这种批评是对的）就会成真，即：哲学总想在沉思中逃避现实，而不会在思考中把握现实。

参考文献

Carrier, M. and Mittelstrass, J. (1991). *Mind, Brain, Behavior: The Mind-Body Problem and the Philosophy of Psychology*, Berlin and New York: de Gruyter.

Creutzfeld, O. (1981). Bewusstsein und Selbstbewusstsein als neurophysiolo-gisches Problem der Philosophie, in: *Reproduktion des Menschen: Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie*, Frankfurt and Berlin and Vienna (*Schriften der Carl-Friedrich-von-Siemens-Stiftung 5*), pp. 29-54.

Descartes, R. (1964—1974). *Oeuvres*, I-XII, ed. C. Adam and P. Tannery, Paris: Vrin, 1897—1910, new edn,, I-XI, 1964—1974.

Frege, G. (1966). Der Gedanke: Eine logische Untersuchung (1918/1919), in: G. Frege, *Logische Untersuchungen*, ed. G. Patzig, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, pp. 30-53.

Mittelstrass, J. (1998). Das philosophische Kreuz mit dem Bewusstsein, in: M. Stamm (ed.), *Philosophie in synthetischer Absicht-Synthesis in Mind*, Stuttgart: Klett-Cotta, pp. 21-35.

Pöppel, E. (1985), *Grenzen des Bewusstseins: Uber Wirklichkeit und Welterfahrung*, Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt.

Popper, K. R. and Eccles, J. C. (1977). *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*, Heidelberg: Springer Verlag.

Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations*, New York: Macmillan.

第五章

将思维、脑与教育理解为复杂的动态发展系统：测量、建模与研究

Paul van Geert & Henderien Steenbeek

概述

一个涉及动态系统过程的、对行为与脑变化进行分析的框架可以使人类发展的研究大大获益。动态系统的研究者们以个人成长模型为出发点，以学习与教学中的变化过程为焦点，建立具体的模型。他们在数学模型中包含了多层次、多尺度的偶然性互动。这些模型将研究与测量的焦点转移到个体行为、时间波动以及成绩与脑模式的渐变和突变的结合上。动态系统模型可以解释与预测教与学中的重要属性，例如非线性变化与自组织（有序性与信息的自发增长）。它们可以将表面上对立的过程在同一个理论和模型中进行统一，例如基因与环境或个体与情境/文化，这种性质称为叠加性。测量方式应该包括学校与教师每天在课堂中进行的类型——对个体行为的重复测量。然后这些模型可以提供分析常见教育现象的方法，例如分析成绩的变异性、行为的模糊性以及情境的特殊性。这一动态的方法很有希望为理解教育与儿童发展过程中复杂的个体变化提供有用的工具。

——编者

人类的发展构成了一个复杂的系统。Rocha（1999）将复杂系统定义为“……任何一个拥有众多互相影响的成分（主体、过程等）的系统……它们的 72

集合行为是非线性的（无法从每一个体成分活动的加和中得出）……并一般表现出……自组织……”在这个定义中，复杂性不仅与数量层面相关（众多成分），同时也与特定的质性层面相关（非线性与自组织）。我们试图通过科学努力来理解这个复杂体，而这不可避免地涉及如何将这个复杂体简化到人类思维可以理解的程度的问题。如果不将复杂性考虑进去，我们就无法理解复杂系统。这就意味着无论我们怎样简化，复杂系统的核心性质特征都必须保留。这些性质特征对我们理解复杂系统非常重要。

简化发展与成长现象的复杂性的一般方法是将其线性化。标准的研究方法是取一个足够短的时间跨度，以产生单向和线性的因果关系。例如，我们可以进行一项干预，并马上测量其效果，在某个感兴趣的变量上看它的变化。另一种方法是在独立的被试上测量独立的变量，例如横断研究。我们认为被试代表了其背后的类别群体，如“5 岁”类或“ADHD 儿童”类。在这种设计中，与我们的独立变量不发生共变的所有变量都必须被看作是噪音。

通过这种线性化手段在发展现象中的应用，我们可以简化其复杂性，并对这个复杂系统中存在的很多关系有更好的理解。

然而，关键的问题是，**这种类型的简化是否保留了这个复杂动态发展系统的核心特征呢？**如果没有，那么我们怎样找到一种简化与研究这一现象的方法，使得我们的方法可以忠实地反映这些核心特征？为了回答这些问题，我们将首先给大家呈现一个简短的描述，来指出我们认为什么是复杂系统的特征或核心特征。我们将首先讨论这些复杂性系统的核心特性或特征如何影响发展心理学中变量测量的一般方面；然后讨论它们如何影响理论建构、模型建立以及假设的实证性检验。在后文中分块讨论只是出于方便考虑，实际上它们是紧密结合在一起的。关键问题的答案应该是，一般来说，标准的发展研究方法无法保存复杂系统的核心特征。但是，我们想要告诉大家的是，将我们熟悉的研究发展的方法与那些与其动态性与复杂性相关的特征协调起来是可能的，我们还会告诉大家应该怎样协调。

复杂系统的特征或核心特征

非线性与自组织

73 非线性指的是变量或作用力的效果不能用因果变量的功能之和来表示。自组织意味着在复杂系统中，微观秩序（结构、信息……）会自发增生，这是

低层次能量消耗的结果。自组织与非线性是紧密相关的，因为自组织本身就是多种潜在因果关系的非线性效果（例如，它可以突然出现，而其潜在的因果因素则没有明显的改变）。

自组织与传递相反。例如，如果我们把教学看作一种知识传递的形式，那么就意味着一个地点（教师）的某种结构（知识）被带到了另一个地点（学生）。传递不可避免地产生信息的自然损失（即熵的增加，热力学第二定律）。传递系统中产生的秩序或信息的自发损失要求被传递的信息必须是超定的（over-determined）（例如重复多次）。通过这样的超定或重复，由于传递而造成的信息损失就可以得到补偿。如果超定传递不可能实现（在乔姆斯基的语言习得模型中就是如此），那么秩序、结构或信息必须提前置入系统之中。例如，以固有模块的方式。

然而自组织却意味着某些系统，也就是那些已经高度秩序化与结构化的系统（例如一个由学生与教师组成的系统，或一个正常环境中的语言学习者），会表现出秩序、结构或信息的自发增长。因此，在一个自组织系统中，信息的传递（例如教学过程中）会产生比被传递的信息本身更复杂与更完整的系统的构建（例如一些学生的学习效果会超过教师所讲授的内容）。目前，自组织已在众多的发展现象中得到了阐释（例如 Roubertoux & Carlier，2002；Gottlieb，Wahlsten & Lickliter，1998；Ford & Lerner，1992）。

有一个重要的问题与自组织的实证指标有关。自组织的第一个指标是，秩序与结构的增长超过“输入”信息中的秩序与结构。秩序与结构的增加是发展的标志，但要表明这种秩序超过了“输入”（教学与学习环境）的秩序则并非易事。我们注意到在乔姆斯基式的语言发展研究方法中，“刺激贫乏”论证有可能为语言习得是一个自我组织过程的观点提供有力的潜在支持。可惜的是，由于在乔姆斯基的方法中，自组织并非一个可行的选择，所以用“刺激贫乏”论证来说明语言结构是天生的。最后，自组织的其他实证指标还有发展的不连续性、平台期、短暂的退步、倒 U 形成长方式等。 74

叠加性

叠加性是复杂性的第二个特征，它意味着同时有两个（表面上）不相容的属性共同描绘现象的特征。人们用正式定义的形式将叠加这一概念应用于量子物理中，表示一种特定的不确定性，例如粒子的位置与能量的不确定性。在复杂的心理—脑—教育系统中存在着一种非正式定义的叠加。它通常在以下这

些问题的情境中被提出来，例如“脑是否可以解释心智”，“发展应该由基因、环境还是部分地由两者共同解释”，“知识是一个实体（大脑中的一个物理结构）还是一个过程”，“人应当以类别（如精神病诊断手册）还是以（临床上的）维度来进行区分”，等等。

我们可以通过将其线性化而（相对）简单地得到这些问题的答案，例如，研究一个大的独立被试样本中基因与行为的关联性。然而，这些解答往往导致（表面上的）矛盾。例如，如果我们比较几代人在平均智力上的差距的话（如1900年出生的组群与1950年出生的组群），得到的差异中大部分可以由（历史性）环境变化来解释（例如弗林现象，平均智商测试结果随世代而增加）。然而，如果我们比较同一代人中的个体智力差异，并且假定生活环境给每个人都提供丰富的机会，那么得到的差异则绝大部分可以用基因来解释。因此，可能对1950年出生的一个特定的人来说，智力既可能（几乎）完全取决于环境，也可能（几乎）完全取决于基因。而一旦我们意识到基因与环境是交织在一个跨越时间阶段的复杂链条之中，并且我们不能把它们看作可以独立地对发展起作用的变量，这一结论的矛盾就立即减弱了。

同样，叠加性的实证指标是间接的。例如，如果某些问题——诸如基因与环境的问题——经过多年的科学讨论仍未解决，而且人们的观点摇摆不定，那么很有可能这个问题包含着一个叠加性，而它的解决方法中所用的简化方式并未能捕获这一叠加性。如果在一个特别小的研究尺度下，不论他们本身的素质有多高，行为观察者们在他们所应作出的分类上始终难以达成一致的话，那么这个分类可能本身就是模糊的，也就是说它拥有一些两个类别共有的属性使得观察者无法达成一致（见 van Geert & van Dijk，2003 中的讨论）。

75

叠加性的一个直接实证指标是个体内变异的峰值，特别是在发展的情境中。人类的行为与表现固有其变异性与波动性，但有一些时候这些波动会出现峰值。这种峰值通常表明从一种发展状态、水平或阶段到另一种发展状态、水平或阶段的转换，并有可能是由两种状态、水平或阶段的暂时性叠加引起的。这一叠加表明，在某一时刻，孩子处于一种状态或水平，而在另一时刻，则处在另一种状态或水平。图5.1给出了儿童语言发展的数据例证（Bassano & van Geert，2007）。根据人们提出的三个语言产生的功能，语言的产生被划分为三个组：产生1个词的句子（Hologphrastic generator，单词句产生者），产生2—3个单词的句子（combinatorial generator，组合词句产生者），产生4个以上单词的句子（syntactic generator，句法产生者），或者产生1—3个单词的句子。这种发展模式表现为重叠的曲线，分别代表三种发音形式的频率。对变异模式的分析显示

了两个峰，它们很可能分别对应了产生2—3个单词句子的阶段取代产生1个单词的句子阶段，产生4个以上单词句子的阶段取代了产生2—3个单词句子的阶段。

实体与过程

复杂动态系统的第三个特征或特性是，它们建立在实体与过程的综合上。"实体"指的是物理客体与结构看得见摸得着的、物理的与恒定的存在。过程指的是实体中互有因果联系的变化在时间上的连续。考虑到我们的人类认知结构，理解一个实体要比理解一个过程更容易，这也就是为什么相比那些转瞬即逝的过程模型来说，我们更喜欢实体性的解释。现在，科学界对于脑作为一个物理实体以某种实体形式包含了行为的原因这一观点产生了极大的兴趣。这一实体层次表现为，人们为一些特定形式的认知活动寻找特定的局域化的脑区或脑的特定部位，例如阅读或数字的使用。不管脑区定位的研究多么有趣，我们应该注意到它们并不能为阅读过程与数字思维过程提供解释（至少在主流新闻中，"负责这项工作的脑区"这一发现常被描述得好像是找到了这一过程的最终解释一样）。而且，脑区的定位只在一定程度上是"真实"的，因为它们是大量不同被试与不同时间的数据的平均，此外，它们只是指出了哪些脑区有活动的增加，而并不是说我们所考虑的问题就在这唯一的一个脑区加工而不需要其他激活程度相对低的脑区的参与（参见 Mazoyer & Tzouriou-Mayoyer，2002；Beaulieu，2000，Uttal，2001）。

76

Thelen 与 Smith 的动态系统理论（Thelen & Smith，1994）对知识的实体化解释提出了强有力的质疑。他们强烈地反对将知识与概念解释为脑中某些固定的"机器"，可以产生与这些知识与概念相关的行为。在他们看来，知识、概念与技能等都是过程。他们认为这些东西是软结合的，也就是说它们是一些局域与暂时的事物，无法在其过程之外存在。然而人类认知复杂性的一个特点就是，知识与概念同时既是实体也是过程，它们既是短暂的和"软结合"的，同时也是思维的因果性与条件性实体。注意，这一事实与我们上一段所讲的叠加性有着紧密的关联。这个关系体现了一种更一般的论点，即复杂系统的所有属性间都是彼此相联系的。

那么有什么指标可以表明这个实体与过程的叠加呢？一个重要的指标就是个体内变异本身（注意，我们在叠加那一节中强调的是把个体内变异的**峰值**作为一个主要的实证指标）。如果心理现象——例如知识或技能——同时既是（在

大脑中）“固定”的，也是必然牵涉环境与情境的过程的产物，那么对每一个特定的人来说，它们必然以某种特别的方式波动或变化。变异性的大小决定了一个现象是归为实体（如果变异小）还是归为过程（如果变异大）更为稳妥。

因果关系的多层次性与多尺度性

复杂动态系统的第四个特征或特性是，它包含了很多层次与时间尺度，例如个体层次、群体层次、社会层次、文化层次、物种层次，以及微发生尺度（microgenetic）、个体发生尺度、历史尺度、演化尺度。显然很多涉及发展研究的问题都可以通过分离某个特定的层次或尺度来实现，但也有另外一些问题必须明确地考虑到不同层次与尺度之间的互相作用。例如，大约 80 年前形成的维果茨基研究的基石之一，就是对社会历史的发展与个体发生学之间的相互关系进行研究（Vygotsky，1978）。这些不同的组织层次之间，以及相应的时间尺度之间的关系原本就是一种相互影响的关系。

77

因果关系的相互性或交互性原则在动态增长模型中得到了明确的说明（van Geert，1991，1994，1998；Fischer & Bidel，2006，Fischer，本书）。它们把发展看作一个拥有支持、竞争与条件关系的不同成分交互作用的网。这些关系是交互的，但并不一定是对称的。例如，较早的一个语言策略有可能与较晚的、更复杂的语言策略形成一种支持性关系。然而，较晚的策略与其前辈之间却是一种竞争的关系（参见 Bassano & van Geert，2007）。通过对这样的交互行为网进行建模，我们可以理解阶段的产生、暂时性退步以及倒 U 形发展等现象。

发展中因果关系的多层次性也表现在如下事实中，即复杂系统的属性（通常）分布在多个成分之中。像“概念”、“知识”这类东西显然是人的属性。如果加以思考，我们只能将其看作内部属性。然而，这些属性所服务的任务的复杂性远远地超出了内部知识基础表征的能力范围，例如在一个真实世界中移动或解决一个数学问题。因此，我们的知识与概念极大地依赖于外部世界的属性，而从这个意义上来说，我们的知识是具有所谓的分布式与情境化的属性（Clark，1997）。它的情境化不止于物质世界，也在乎社会情境（例如电脑与人类合作者）。我们为了改善认知与行为所创造出来的那些外部工具，并不仅仅是简单的外部附加物，它们也会影响内部过程。从长远角度来考虑，在发展过程与历史过程中，只有长期效应才是重要的，因为它们会改变内部过程本身，例如，对那些可以促进外部工具使用的内部技能的选择。举例来说，在书写的历史上，文字标记最初只被用来当作外部的记忆辅助工具，后来，从进化

的角度来说，它们演化成了一种全新的认知技能，即读写技能。这些技能被脑中可以掌控它们的脑区所“接受”（参见 Dehaene，本书，和 Wolf，本书）。然而，读写本身的演化也很可能受到接受了这些技能的脑功能属性的影响。 78

有哪些实证指标可以体现发展研究的多层次与多尺度性呢？一个直接的指标即是找到一个过程的短期演化机制与长期演化机制之间的区别。另一个指标是找到通过分析儿童发展过程中群体内的个体间差异而得出来的结构（例如，人格与智力的因素结构）与通过分析个体内差异所得出来的结构（例如，对单个个体进行重复测量所得到的动态因素分析结果，参见 Molenaar，2004）之间的差别。问题在于这种针对个人发展轨迹的研究少之又少，以至于这种差别存在的证据稀缺［Masher-Eizenman 等人（2002）所作的有关知觉控制与学业成绩的研究是这方面少有的例证之一］。

到目前为止，我们已经回顾了复杂动态系统的四个核心特性或特征，即非线性与自组织，叠加，实体与过程，以及因果关系的多层次性与多尺度性。我们向大家建议了几种实证指标，即那些可以表明一个过程或现象中存在这些特征的属性。现在，我们将把这些特征或特性应用于发展研究中的一个重要方面，即发展的测量上。

发展测量中的复杂性方面

模糊性、含糊性与不确定性

我们所感兴趣的现象中，如孩子的认知水平、阅读能力、社会认知等，其本身的大部分就是复杂变量，也就是说这些变量继承了它们所表征的复杂系统中的全部或很多属性。我们已经提到过一些关于复杂性系统的实证指标，它们主要与叠加的特性相关，即含糊性与表面上的矛盾性。这些特征与发展测量的问题直接相关。

举例来说，如果我们对一段儿童之间的互动中的情绪表达进行评分，我们经常会面对这些情绪的模糊性甚至含糊性，而我们却通过将简化的假设强加于其上来解决，例如把它们简化到一个从负性到正性的一维变化上去（例见 Steenbeek & van Geert，2002）。另一个例子是解释早期儿童语言的分类，例如前置词与动词。通常来说，前置词和非前置词之间并不存在明晰的分界（例如 van Dijk & van Geert，2005；van Geert & van Dijk，2002，2003）。在这个例 79

子中，事实上有些词是介于动词与前置词之间的，这就是模糊性的一个例子：一个似乎涉及互斥性的分类（一个词要么是前置词，要么不是前置词）却涉及了渐变（从非前置词到前置词之间存在一个渐变）。这一渐变可以量化，也就是说，我们可以用一种正式的方法来讨论模糊性（van Geert & van Dijk, 2003)。不同类别之间的渐变产生了含糊性，也就是说，如果一个词代表了一种介于动词与前置词之间的某种东西，那么它既是前置词也是动词，同时它既不是前置词也不是动词。因此，从词义分类的角度来说，这个词是含糊的。

变量的模糊性与含糊性通常被解释为信息的缺乏。从这个观点来看，现象是确定的，它非此即彼，但观察者仍缺乏区分它究竟属于哪一类的信息（或技巧)。换句话说，模糊性与含糊性只不过是我们的不确定性。显然，很多时候，多个观察者意见不一致时所产生的模糊性与含糊性确实是由信息不足或观察者能力不同而引起的，并可以通过获取更多信息或对观察者加以训练来解决。然而，如果模糊性与含糊性乃是我们所研究的现象本身的属性，我们就必须区分哪些时候模糊性是真实的，哪些时候模糊性产生于信息的不足。在模糊性是真实的这种情况下，我们必须通过尝试着将其量化而使其客观化（就像我们用一个置信区间来表示不确定性一样)。例如，我们可以不使用评分者不一致性作为测量误差的度量（不一致性越高，误差越大)，而使用那些判断准确的、训练有素的、标准与评分技能一致的评分者之间的不一致性，来作为他们评分的分类本身的内生含糊性与模糊性的量化信息（参见 van Geert & van Dijk, 2003，在语言发展中的应用)。

在临床测量中，不确定性（实际上我们应该叫它真实的模糊性）常常存在争议，例如一个儿童“有”还是“没有”ADHD 的不确定性。如果行为指标可以与客观指标相连，比如“真正”的 ADHD 儿童的特定脑区会更加活跃，那么这种不确定性（当然，其实是模糊性）就真的能得到解决了吗？在我们对复杂性系统的第三个特征（实体与过程的叠加）的讨论中，我们已经论证了，仅仅是发现一个实体的属性，例如找到一个特定的脑区，并不能解决（例如）ADHD 究竟是什么，它是怎样发展的，它在不同的人身上有何不同，以及它在人的一生中如何变化等问题。有关脑的知识为这一复杂的谜题提供了新的证据并因此有助于谜题的解决；但它本身并没有真正地解决谜题。

心理学变量的动态层面

在我们对复杂动态系统的第四个特征（即这些系统的多层次性与多尺度

性）的讨论中，我们已经看到，不论我们测量什么变量，例如儿童在一个认知推理任务中的发展水平，我们得到的实际上是个人能力与情境预设之间互相作用的结果（参见 Thelen & Smith，1994；Fischer et al.，1993；van Geert，2002；Clark，1999，Fischer，本书）。虽然从统计上来说，我们可以分离环境的方面与人的方面，但是这种分离需要人与环境是独立的这一假设成立。在一个较短的时间尺度上，环境预设与个人能力是两种实时相互作用的结果，因此它们对彼此有着固有的依赖。在一个较长的时间尺度上，个人倾向于主动选择与操纵他们所处的情境，而情境又反过来塑造个人的特征与能力。在给定一个人的核心内部特征并同时给定此人所处的典型环境范围的情况下（例如，这对于儿童与成人是不同的），此人在我们所感兴趣的变量上的得分将会呈现出典型的动态性。而心理学测量的目标恰恰应该是这种典型的动态性。为了捕捉到这种动态性的特征，测量方法必须符合以下几个要求。

第一，测量的重复频率（测量之间的间隔）可以观察到个人的典型变化。所谓典型变化，就是指此人得分的典型变化范围。这个范围是此人的典型情境变化的产物，但也是内在条件的固有变化的产物（例如，De Weerth，van Geert & Hoitink，1999；de Weerth & van Geert，2002a，2002b；Li et al.，2001，2004；Granic et al.，2003；Eizenman et al.，2004；Schmity & Skinner，1993；Kernis et al.，1993；Butler et al.，1994；Rabbit et al.，2001；Alibali，1999；Bassano & van Geert，2007）。针对发展不连续性的研究，例如，一个像守恒这样的新的认知原则的出现，也非常强调将变化的增加作为发生不连续性的前兆的意义（van der Maas & Molenaar，1992；van der Maas，1993；Hosenfeld，van der Maas & van den Boom，1997；Jansen & van der Maas，2002；Wimmers，1996）。

第二，被测量的变量是分布在个人与个人所处的典型环境之中的（我们在复杂系统的多层次性那一部分讨论过这个问题）。这种分布性常常与个人的典型模式行为同时出现。因此，测量意味着要以不同（典型）环境中的多重测量的形式来探索不同的典型行为特征模式。例如 Fischer 测验所产生的功能模式与最优模式，包括有无支持或合作，以及将能力更强的人作为认知操作的典型环境之一，特别是在发展与教育情境下（Fischer et al.，1993；Fischer，本书）。另外一些例子与不连续变化的临近状态相关，例如在不同类型的语言产生之间（Bassano & van Geert，2007），或在皮亚杰的从无守恒到理解守恒之间（van der Maas & Molenaar，1992），或者通过不同的操作模式使得不连续阶段得以重复（例如语言模式与非语言模式，见 Goldin-Meadow et al.，1993）。

同时（最终是暂时性地）以这两种不同的模式运作的人脑，即显示出了一种叠加性，例如这个脑既有发展水平 A 的特征，也有发展水平 B 的特征。这种叠加不会产生逻辑矛盾。它之所以可能存在，是因为脑在复杂系统之中运作，并且脑本身也是一个复杂系统。

发展理论建设与假设检验中的复杂性层面：个案研究

对于我们所进行的有关发展过程的研究来说，复杂性系统的这些特点将产生什么影响？我们如何捕获其非线性与自组织、叠加性与因果多层次性及多尺度性？假如我们不实际地进行实时追踪，我们能够理解一个过程的发生发展吗？要将复杂性与动态性系统的方法引入进来，我们还需要找到一个全新的发展学方法论。这是否意味着我们现有的方法不适合我们对发展的动态性与复杂性理解？在这一节中，我们认为，只要我们愿意用一种稍微不同的方法来看一下我们的数据，发展心理学中的标准方法与标准设计可以至少捕捉到一部分复杂性与动态性。我们举一个我们自己研究中的例子来说明这一点是如何实现的。

82

互动属性与社会关系地位间的关系

儿童早在六七岁的时候就已经表现出对其同班同学的偏好性了。通过应用社会测量学的技术，我们可以把同一个学校班级中的学生划分到不同的社会关系地位中去，例如受欢迎的、平均水平的与被讨厌的。较早的研究显示，在与同辈间进行社会性互动的时候，受欢迎的孩子相对于被讨厌的孩子表现出更多的正性情绪表达，并且面对同辈时有更高的指向性（Black & Logan，1995；Rubin et al.，1998）。在荷兰乌德勒支大学所进行的一项纵向研究中，研究者将一个平均水平的孩子与受欢迎和被讨厌的孩子置于一处，让他们使用各种玩具进行一个持续十分钟的假装游戏并进行录像。其结果并没能支持早先关于社会关系地位与正性情绪表达之间的线性关联（de Koeijer，2001）。然而问题在于，在一个样本或总体中找到一个变量之间的联系，而最终又无法重复这种发现，这没有告诉我们任何关于这一因果过程的信息。我们还是不知道孩子的社会关系地位同孩子在与其他孩子进行互动的时候所真正表达出来的正性情绪之间有什么关系。

一个情绪表达与互动的动态模型

模型的一般属性

在我们自己的研究中，我们从一个社会互动中情绪表达与指向性的动态模型出发（指向性是指所有指向他人的活动，如果它得到了他人的回应，我们就称其为一致性；Steenbeek & van Geert，2005；Steenbeek & van Geert，2007a，b）。这一社会互动模型的基础是一个一般化的、高度简化的人类行为模型，并受到情绪的功能理论［例如 Freijda（1986）与 Campos et al.，（1994）等都提出过这样的理论］的重大启发。我们推测，行动或者更一般的行为，是建立在两种成分的基础之上的。第一种成分是一个人的目标（concerns），例如他所想要实现的"利益"。另一种成分我们称为互惠性（reciprocity），指的是社会交换的内在适应性，也就是说人倾向于对彼此的行为作出回应。应用到两个儿童的游戏情境中时，目标被缩减为两个基本目标。第一个是参与的兴趣（参与指的是共同游戏的一类活动，包括为了使他人参与到互动中来而指向他人的所有行动）。另一个是自主性的兴趣（自主性指的是独自游戏的一类活动，与他人间没有交流）。情绪则是目标实现程度的评价，例如满意度。举例来说，对于儿童自身与其同伴而言，一个传递给同伴的正性情绪表达表示当前的情境使该儿童的参与性目标得到了满足（模型的图示参见图 5.2）。

游戏过程与其他任何形式的社会互动一样，是一种行动的循环结构。也就是说，一个行动（例如一个将自己指向对方的语言）得到对方某种方式的回应，而对方的回应又随之得到回应，如此往复（见图 5.2 下部）。这种循环性或递归性是模型的确定组成部分。它的含义也包括参与互动的人组成了彼此的互动情境。而且，这个情境一部分是由该儿童自己创造的，一部分是由它的玩伴创造的。从这种意义上来说，情境不是一个附加的、静态的框架，我们不能将其看作一个在不同个体间自由变化的"独立"的变量。一个特定情境中的行动与反应是由目标性与互惠性共同定义的。

我们以如下的方式将社会关系地位整合到这个模型中。首先，我们假设，如果儿童的玩伴有较高的社会地位，那么该儿童的参与性目标会更强。第二，文献指出，受欢迎的孩子与其不受欢迎的同伴相比，其社交影响力更高：他们对其同伴的行为有更高的影响，并且他们更善于区分行为有效的情境与行为无效的情境（有效性由其目标实现功能来定义）。

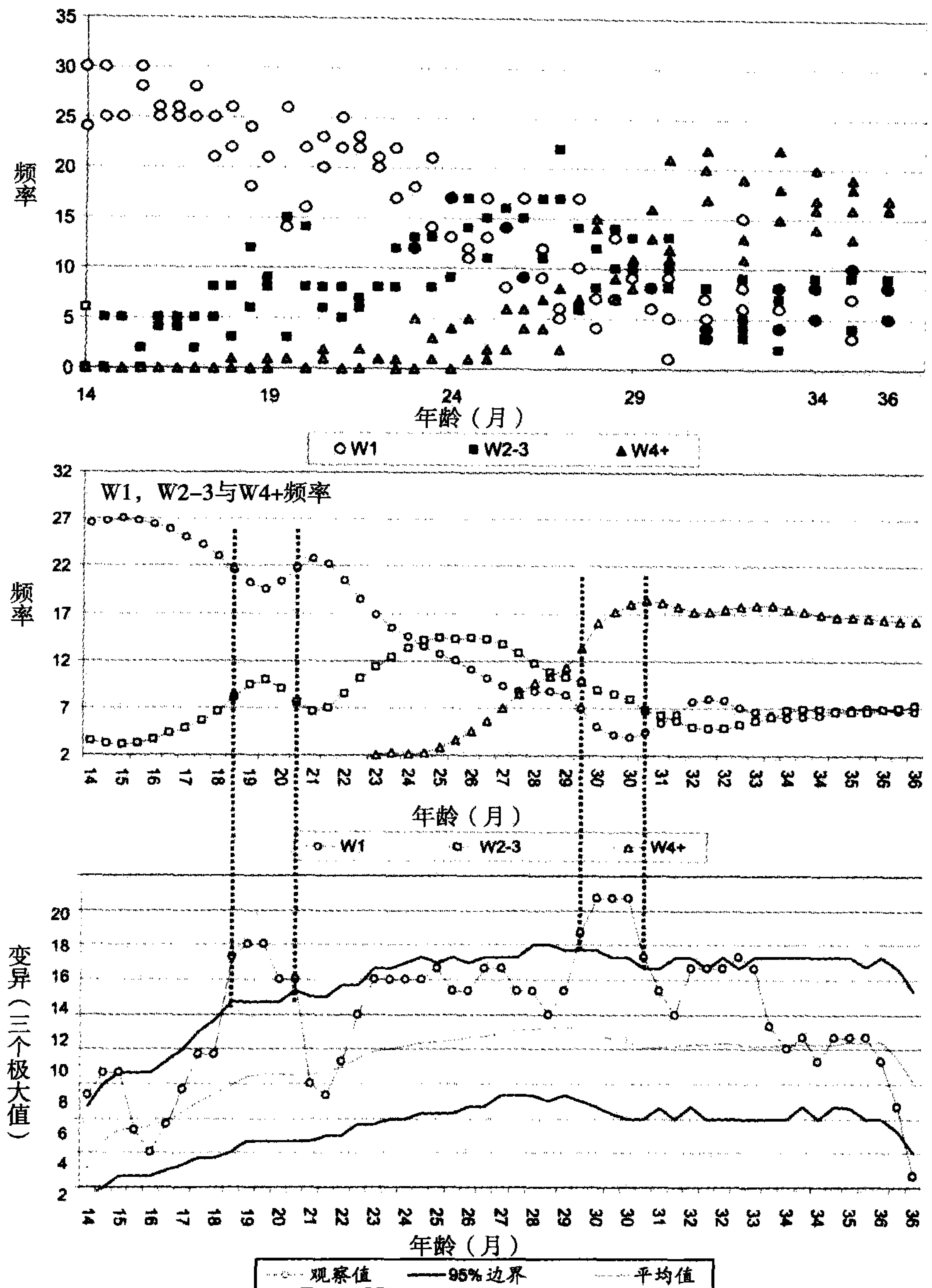


图 5.1　说法语的女婴在 14—36 个月期间 1 个单词、2—3 个单词和 4 个单词以上多词语言发音频率变化。发音分组对应我们所假定的不同语言产生者：单字句产生者、组合词句产生者、句法产生者。

顶部：原始数据，基于 30 次发音的亚过程。一个完整的观察过程包含 60 次（小于 22 个月）或 120 次发音（大于 22 个月），并为了研究过程内的变异而划分为几个包含 30 次发音的亚过程。

中部：利用局部加权回归散点平滑法作出的平滑频率曲线，用来估计三种发音方式的（变化的）中间值，并追踪局部逆行与其他与主趋势的偏离。

底部：过程内变异，其定义是5次连续比较中的三个过程内变异性最大值的平均。变异性的峰值出现在大约19个月时，与单个词发音的暂时性减退及2—3个词语句的短暂峰值同时出现。第二个峰值出现在约30个月时，这是4个以上词发音巩固时期。很可能30个月以后的单个词发音与2—3个词发音将越来越多地由新产生的句法产生者产生。我们把观察到的变异峰值与一个由多项式模型（multinominal model）得出的变异范围进行了比较：既然我们可以将三种发音形式的平滑频率曲线看作是多项概率方程，那么其统计期望值可以通过计算得知，例如以95%边界的方式。变异的峰值与统计期望峰值有显著的不同（$p<0.01$）。

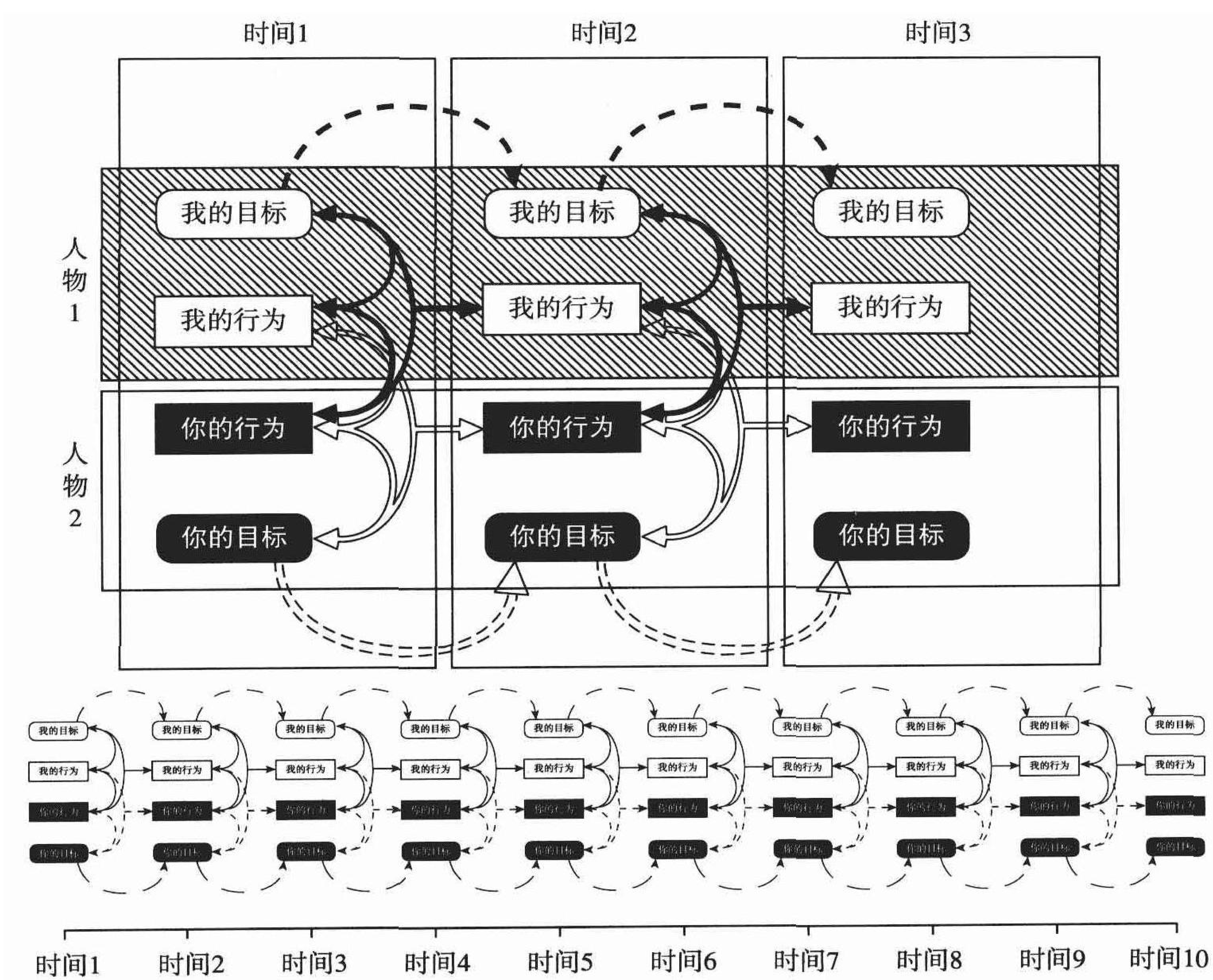


图5.2　社会互动情境中短期行为改变的一个基本模型。两个人（如两个儿童）都关心一起做的事情，或者单独做的事情（一起玩耍或单独玩耍）。从数学的角度来讲，两人对共同玩耍的比率偏好要高于单独玩耍。一个人的行为的下一个阶段（例如时间2）是建立在对自身行为（一起玩或单独玩）以及另一人的行为与目标的差异进行评价的基础之上的。此模型对两个人来说都是对称的。在这一简化模型中，目标在短期内没有产生适应性变化（虚线表示目标在时间上保持不变）。顶部的图示只显示了三个时间阶段，而底部的图式可以更好地体现这一过程的循环性。

这一基本的概念模型被转化为两种动态模型。第一种是所谓的主体模型，它用一种更细节化的方式来模拟互动过程（参见 Steenbeek & van Geert，2005，2007a，b）。第二种是对上面提到的互动原则的高度简化的数学表达，表现为几个配对微分方程的形式。我们用这一模型来预测受欢迎和被讨厌的儿童与平均地位的儿童游戏时的指向性以及情绪表达。这些预测并不涉及互动过程的实际进程，而只关心全局性指标，例如，整个互动过程中情绪表达的平均时间与强度。在讨论这些预测和它们的实证检验之前，我们首先要讨论一下为什么这样一个从动态模型出发的研究过程与本章中所讨论的复杂性系统方法是相一致的。

简单动态交互作用模型中的复杂性方面

我们没有使用不同独立被试间变量的线性联系模型，而是使用了一个动态模型，令互动属性成为一个实时过程的结果。我们使用这个动态模型来作出互动过程中的全局平均属性的预测，并且它可以在独立案例的基础上用标准的横断研究设计来检验（被试对）。该模型还指定了自组织的最简单形式：对于每个参数值集合，它会稳定于一个固定值。因此，儿童的正性情绪值与针对彼此的指向性并没有被看作是产生于一个内在的并且相对静态的对正性情绪的偏向性。在这个模型中，它是一个动态互动过程的结果，因此它既考虑了主体的因素也考虑了情境的因素。从这个意义上来说，情绪与指向性水平是分布式过程的产物，也就是说，它们产生于一个分布于互动参与者之间的过程。

86

87

复杂系统所特有的叠加性显然决定了情境与主体的概念该如何界定。从互动过程的循环性角度来看，情境，也就是说游戏伙伴的行动与属性同时既是儿童行为的产品也是这些行为的诱因。相似地，该儿童的属性也在很大程度上是由情境（例如该儿童的目标）决定的。因此，虽然我们随时可以将情境与主体分离，但主体是情境的创造者，情境也是主体的创造者。这种形式的叠加并不是含糊其辞或者比喻式的：它完全是由模型所指定的方程来定义的。

而实体与过程在模型中则体现为在模型中被认为是“固定”内部属性的部分（例如儿童的社交有效性）与模型所描述的过程所产生的部分（如目标、情绪等）之间的一种显性选择。选择“实体”或固定的方面（例如人的属性）并不意味着我们可以将固定部分的“固定性”加以一般化。在一个试图解释这个方面的模型中，例如社交有效性，固定的方面也有可能会以过程的形式出现。

然而，目前这个模型在复杂动态系统的最后一个特点也就是过程的多层次性与多尺度性上仍有不足，该模型指定了社会互动的短期动因，例如对应于十分钟的玩要时间。它可以解释模型中所区分出来的参数在发展过程中如何变化以及为什么变化，其中一部分是社会互动本身的结果（参见 Stehenbeek & van Geert，2007b）。

在标准样本设计中检验动态系统假设

被试、流程及预期

平均年龄为6.5岁的小学一年级学生参加了本研究，年龄上限8.8岁，下限5.8岁。在83个儿童（47个男孩、36个女孩）中，我们根据评分测验（Ssrat，Maassen，Akkermans & van der Linden，1996）所得的社会关系地位，选出了24个被试对。为每个被试对录像三次，时间间隔为大约一个半月。互动包含十分钟的游戏过程。每个被录像的儿童的表达性与反应性的变化以1/10秒为单位进行编码（事件采样）。

88

通过按照假设的目标与有效性所作出的被讨厌与受欢迎儿童的预测，使用其对应的参数空间计算出所有可能的输出结果，作为模型的预期。结果模型所作出的预期如下：在其自己所在的被试对中，相比于被讨厌的孩子，受欢迎的孩子将表现出较低水平的指向性以及较低水平的情绪表达。在受欢迎的孩子身上，正性情绪的分布更为高效化；受欢迎的孩子也会比被讨厌的孩子表现出更多的负性情绪。如果不考虑被试对之间的差异，我们预期儿童与其玩伴的相似性将高于机遇水平。模型预期，受欢迎孩子的同伴参与程度与被讨厌的孩子的同伴参与程度没有差异。被讨厌的儿童的玩伴将会表现出比受欢迎儿童的玩伴更多的负性情绪表达。最后，模型预期，受欢迎—平均水平的被试对的共同参与程度将低于讨厌—平均水平的被试对。受欢迎被试对与被讨厌被试对在共同负性情绪表达上不会产生差异。注意，这些基于实时互动的动态模型的预期，与基于早先的研究结果所作出的预期（发现了受欢迎度、正性情绪与指向性之间的正相关）显著不同。

而鉴于受欢迎与被讨厌的儿童数量较少，并且由于评分过程极为繁琐，被讨厌—平均水平、平均水平—平均水平以及受欢迎—平均水平的被试对都使用了小样本（分别为13对、14对、14对）。出于这个原因，加上我们无法预期

总体中的变量分布情况，我们对每一个操作变量使用了一种非参数的随机排列检验（参见 Manly，1997；Good，1999；Toddman & Dugard，2001）。这种统计方法的一个主要好处是，几乎所有的预期都可以得到检验，只要我们可以清楚地定义虚无假设，并用统计模拟的方式来进行测验。

最后，一个群组的特点（例如不受欢迎）未必适用于组内所有成员，甚至不能说适用于组内大多数成员。因此，有可能组间的差异出现在极值上而非均值上，或均值上的差异有可能是极值所造成的。出于这一原因，我们不仅在组平均值上进行了检验，还检验了极值的特点（这里实际上是指组内最高与最低的 20%）。

89

结果与讨论

概括地说，我们的数据几乎证实了所有的预期。特别是被讨厌的儿童倾向于表现出一种正性情绪的**溢出**，他们表现出了很多正性情绪但没有从玩伴的反应中得到回应。可能这种溢出产生于我们所假设的特别是在与较高地位的玩伴游戏时他们对参与的高度关注。而溢出也是他们缺乏社交有效性的表现，即他们的努力没有产生共鸣。

正如我们预期的那样，受欢迎的儿童表现出正性情绪的频率比被讨厌的儿童低，但却更可能得到引发玩伴的正性情绪表达。这意味着受欢迎的儿童比被讨厌的儿童在建立一个主体间框架上更为高效。此外，受欢迎的儿童在他们的互动中更为有效，表现为他们投入的努力更少，却可以保证玩伴付出更多的努力。这种效果表现为玩伴有更多语言与非语言的主动行为。不论是与受欢迎的还是不受欢迎的玩伴游戏，平均水平的玩伴之间的差异都不显著（这种没有差异的情况正好符合我们的预期）。只有一处例外，即如果被讨厌的孩子的玩伴表达负性情绪，则这种负性情绪会更加强烈。

此外，除了测量不同地位组之间的差异以外，我们也分别测量了每一个被试对中的儿童与其玩伴。每一种类型的被试对中，都出现了一种调节过程，即儿童与玩伴间会发展出一种典型的协调水平。这种协调水平的一种表现是，被讨厌被试对中的玩伴在指向性与正性情绪表达方面都表现得更积极。

通过对数据的观察，我们发现对大部分变量来说，地位组分布中的低值部分较为相似，而差异出现在分布的高值部分，包括极端值。

我们在某些变量中只找到了极端值的差异而没有找到平均值的差异。

复杂性的层面

我们的数据显示，不能把行为看作人的一种固定属性，而应看作情境中的一种适应性行为的产物，而情境又是此人行为本身的产物。数据还证明了非线性的存在，因为被试属性与社会关系地位的关联在社会地位组或样本之间不是线性分布的。地位或群体的认定是基于一个代表其“典型”模式的典型性亚群体，而差异常常产生于这个亚群体，却未必可以代表群体中的大多数。另外，我们在被讨厌与受欢迎被试对中所找到的典型性模式显示了一种（看似）矛盾的属性的叠加：被讨厌的儿童反而表现出更强的互动性和与玩伴间共同的正性情绪表达。因此，在群体中被欢迎或被讨厌这一现象的复杂体与儿童间多种多样的互动方式以及行为的功能性相关，如行为趋向于实现目标等。

90

最后，我们的发现如此有力地证实了我们的预期，这也为得出这些预期的动态系统模型提供了更高的可信度。

结论：简化发展现实的同时必须保存其复杂性

在本章中，我们讨论了复杂动态系统的四个核心特性，它们直接适用于人类发展。如果不将这些特性纳入考量，就不可能正确地理解人类发展。不幸的是，在对研究客体进行必要的还原与简化的时候，当今大多数方法抛弃了这些性质，从而创造出一种人类发展中基本特性不充分的图景。在我们对心理测量的讨论中，我们已经试图说明，为什么含糊性、模糊性、变异性与情境特异性等特性必须置于测量过程的核心，而不是将它们作为简单的测量误差而抛弃。在这个社会地位间关系的研究中，我们试图说明，在对标准研究设计作出相对较少的变动的情况下，就可以洞察年幼儿童行为的复杂性与动态性。

参考文献

Alibali, M. (1999). How children change their minds: strategy change can be gradual or abrupt. *Developmental Psychology*, 35 (1), 127-145.

Bassano, D. and van Geert, P. (2007). Modeling continuity and discontinuity in utterance length: a quantitative approach to changes, transitions and intraindividual variability in early grammatical development. *Developmental Science*, 10 (5), 588-612.

Beaulieu, A. (2000). *The space inside the skull: digital representations, brain mapping and cog-*

nitive neuroscience in the decade of the brain. Groningen: Doctoral Dissertation.

Black, B. and Logan, A. (1995). Links between communication of mother-child, father-child, and child-child peer interactions and children's social status. *Child Development*, 66, 255–271.

Butler, A., Hokanson, J., and Flynn, H. A. (2004). A comparison of self-esteem lability and low trait self-esteem as vulnerability factors for depression. *Journal of Personality and Social Psychology*, 66, 166–177.

Campos, J. J., Mumme, D. L., Kermoian, R., and Campos, R. G. (1994). A functionalist perspective on the nature of emotion. *Monographs of the Society for the Study of Child Development*, 59 (2–3), 284–303.

Clark, A. (1997). *Being There: Putting Brain, Body and World Together Again.* Cambridge, MA: MIT Press.

De Koeijer, I. (2001). *Peer Acceptance, Parent-child Fantasy Play Interactions, and Subjective Experience of the Self-in-relation; A Study of 4-to 5-year-old Children.* Veenendaal: Universal Press.

De Weerth, C. and van Geert, –P. (2002). Changing patterns of infant behavior and mother-infant interaction: Intra-and interindividual variability. *Infant Behavior and Development.* 24 (4), 347–371.

De Weerth, C. and van Geert, P. L. C. (2002). A longitudinal study of basal cortisol in infants: intra-individual variability, circadian rhythm and developmental trends. *Infant Behavior and Development*, 25, 340–374.

De Weerth, C., van Geert, P., and Hoijtink, H. (1999). Intraindividual variability in infant behavior. *Developmental Psychology*, 35 (4), 1102–1112.

Eizenman, D. R., Nesselroade, J. R., Featherman, D. L., and Rowe, J. W. (2004). Intra-individual variability in perceived control in an older sample: the macArthur Successful Aging Studies. *Psychology and Aging*, 12, 489–502.

Fischer, K. W. and Thomas R. Bidell (2006). Dynamic development of action, thought and emotion. In R. M. Lerner and W. Damon W. (eds.), *Handbook of Child Psychology.* Vol 1: *Theoretical Models of Human Development* (6 edn pp. 313–399). New York: Wiley.

Fischer, K. W., Bullock, D. H., Rotenberg, E. J., and Raya, P. (1993). The dynamics of competence: how context contributes directly to skill. In R. H. Wozniak and K. W. Fischer (eds.), *Development in Context: Acting and Thinking in Specific Environments.* Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 93–117.

Ford, D. and Lerner, R. (1992). *Developmental Systems Theory: An Integrative Approach.* London: Sage.

Frijda, N. H. (1986). *The Emotions: Studies in Emotion and Social Interaction.* Cambridge:

Cambridge University Press.

Goldin-Meadow, S., Alibali, M. W., and Breckinridge Church, R. (1993). Transitions in *concept acquisition: Using the hand to read the mind*. *Psychological Review*, 100 (2), 279–297.

Good, P. I. (1999). *Resampling Methods: A Practical Guide to Data Analysis*. Boston: Birkhauser.

Gottlieb, G., Wahlsten, D., and Lickliter, R. (1998). The significance of biology for human development: a developmental psychobiological systems view. In W. Damon & R. Lerner (eds.), *Handbook of Child Psychology* (pp. 233–273). New York: Wiley.

Granic, I., Hollenstein, T., Dishion, Th. J., and Patterson, G. R. (2003). Longitudinal analysis of flexibility and reorganization in early adolescence: A dynamic systems study of family interactions. *Developmental Psychology*. 39 (3):, 606–617.

Hosenfeld, B., Maas, H. L. J. van der Boom, D. C. (1997). Indicators of discontinuous change in the development of analogical reasoning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 367–395.

Jansen, B. R. J. and van der Maas, H. L. J. (2002). The development of children's rule use on the balance scale task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 383–416.

Kernis, M. H., Cornell, D., Sun, C. – R., Berry, A., and Harlow, T. (1993). There's more to self-esteem than whether it is high or low: the importance of stability of self-esteem. *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 1190–1204.

Li, S. –C., Lindernberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W., and Baltes, P. (2004). Lifespan transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes. *Psychological Science*, 15 (3), 155–163.

Li, S. –C., Aggen, S. H., Nesselroade, J. R., and Baltes, P. B. (2001). Short-term fluctuations in elderly people's sensori-motor functioning predict text and spatial memory performance: the MacArthur successful aging studies. *Journal of Gerontology*, 47, 100–116.

Manly, B. F. (1997). *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology* (*2nd edition*). Boca Raton: Chapman and Hall.

Maassen, G. H., Akkermans, W. and van der Linden, J. L. (1996). Two-dimensional sociometric status determination with rating scales. *Small Group Research*, 27 (1), 56–78.

Mazoyer, B. and Tzouriou-Mazoyer, N. (2002). Variabilité anatomique et fonc-tionelle des aires du langage. In J. Lautrey, B. Mazoyer, and P. van Geert (eds.), *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives* (pp. 55 – 68). Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.

Molenaar, P. C. M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science: bringing the person back into scientific psychology-this time forever. *Measurement*, 2 (4), 201–219.

Musher-Eizenman, D. R. , Nesselroade, J. R. , and Schmitz, B. (2002). Perceived control and academic performance: a comparison of high- and low-performing children on within-person change-patterns. *International Journal of Behavioral Development*, 26, 540–547.

Rabbitt, P. , Osman, P. , and Moore, B. (2001). There are stable individual differences in performance variability, both from moment to moment and from day to day. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A, 981–1003.

Rocha L. M. (1997). *Evidence Sets and Contextual Genetic Algorithms: Exploring Uncertainty, Context, and Embodiment in Cognitive and Biological Systems.* New York: Binghampton University Doctoral dissertation.

Roubertoux P. L. and Carlier, M. Invariants et variants génetiques: les apport de la génomique dans l'étude des processus cognitifs. In J. Lautey, B. Mazoyer, and P. van Geert (eds.), *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives.* (pp. 25–40). Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.

Rubin, K. H. , Bukowski, W. M. , and Parker, J. G. (1998). Peer interactions, relationships, and groups. In W. Damon (Series ed.) and N. Eisenberg (Vol. ed.), *Handbook of Child Psychology: Vol. 3. Social, Emotional, and Personality Development* (5th edn. , pp. 619 – 700). New York: Wiley.

Schmitz, B. and Skinner, E. (1993). Perceived control, effort and academic performance: interindividual, intraindividual en multivariate time-series analyses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, 1010–1028.

Steenbeek, H. and van Geert, P. (2002). Variations on dynamic variations. *Human-Development.* May-Jun; Vol. 45 (3), 167–173.

Steenbeek, H. and van Geert, P. (2005). A dynamic systems model of dyadic interaction during play of two children. *European Journal of Developmental Psychology*, 2 (2), 105–145.

Steenbeek, H. and van Geert, P. (2007a). A dynamic systems approach to dyadic interaction in children's emotional expression, action, dyadic play, and sociometric status. *Developmental Review*, 27 (1), 1–40.

Steenbeek, H. and van Geert, P. (2007b). The empirical validation of a dynamic systems model of interaction: do children of different sociometric status differ in their dyadic play interactions? *Developmental Science* (in press).

Thelen, E. and Smith L. B. (1994). *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Cambridge, MA: MIT Press.

Todman, J. B. and Dugard, P. (2001). *Single-case and Small-n Experimental Designs: A Practical Guide to Randomization Tests.* Mahwah, NJ: Erlbaum.

Uttal, W. M. (2004). *The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain.* Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Van der Maas, H. (1993). *Catastrophe analysis of stagewise cognitive development, model method and applications*. Dissertation, University of Amsterdam.

van der Maas, H. and Molenaar, P. (1992). A catastrophe-theoretical approach to cognitive development. *Psychological Review*, 99, 395–417.

van Dijk, M. and van Geert, P. (2005). Disentangling behavior in early child development: Interpretability of early child language and its effect on utterance length measures. *Infant Behavior and Development*, 28, 99–117.

Van Geert, P. and van Diik, M. (2002). Focus on variabitity: New tools to study intra-individual variability in developmental data. *Infant Behavior and Development*, 25, 1–35.

(2003). Ambiguity in child language. The problem of inter-observer reliability in ambiguous observation data. *First Language*, 23 (3), 259–284.

Van Geert, P. (1991). A dynamic systems model of cognitive and language growth. *Psychological Review*, 98, 3–53.

(1994). *Dynamic Systems of Development*. New York and London: Harvester Wheatsheaf.

(1998). A dynamic systems model of basic developmental mechanisms: Piaget, Vygotsky and beyond. *Psychological Review*, 105, 5, (4), 634–677.

(2002). Developmental dynamics, intentional action and fuzzy sets. In N. Granott and J. Parziale (eds.), *Microdevelopmental Clues: Transition Processes in Development and Learning*, (pp. 319–343), Cambridge: Cambridge University Press.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Londen: Harvard University Press.

Wimmers, R. H. (1996). *Grasping Developmental Change: Theory, Methodology and Data*. Doctoral Dissertation: Free University of Amsterdam.

第二部分

脑发育、认知与教育

第六章

教育中的后天经验与脑可塑性

Wolf Singer

概述

神经生物学中的许多研究结果已经有力地为我们描述了人类知识的神经表征方式。人类脑功能结构不仅取决于基因，还依赖于后天的机制（发展过程），该机制以负责特定任务的神经元之间连接的巩固为基础。“共同活动的神经元，就是紧密相连的神经元”，这条基本规则不仅适用于胚胎期，即使到了出生之后也同样有效。本书的其他相关章节（例如 Dehaene 和 Petitto 编写的章节等）已经表明，婴儿的脑天生就被赋予了一个庞大得让人难以置信的信息宝库。教育不是始于一块“白板”，而是建立在婴儿对内部以及外部环境的先天知识的基础之上。视觉皮层区的相关研究很好地证明了在发展的早期会出现机会窗，而此时的感觉剥夺将使视觉皮层回路无法得到及时巩固，视觉功能就会永久丧失。正如 Bruer 在前文中所述，青春期之后，任何学习都将受制于那些已经稳固下来的神经结构，由于神经系统连接的功能性改变，学习仍然持续进行。对学习过程中新神经回路的发展规律的认识必将促进教育事业的发展。

——编者

为了进一步优化教育策略，人们必须对脑的发育规律以及学习的生理机制等问题有更深入的认识。在过去几十年里，神经生物学研究已经在该领域取得了大量的成果。相关研究涉及诸多层面，成果不计其数，这里不作全面阐述。

我们重点关注的是知识的习得及其表征等方面。在本文中，以下几个问题尤为重要：第一，知识在人脑中是如何表征的；第二，人脑是天生就拥有关于周围世界的知识呢，还是一块可以自由规划的白板；第三，后天经验和教育是否会影响脑发育，是如何影响的；第四，发展中的脑能在多大程度上控制自身发展和知识学习的协调过程；第五，发展中的脑与成熟的脑相比，其学习过程是否有差异，如果有，差异是什么？

知识的神经表征

人脑不同于电脑，电脑由固定的硬件组成，硬件执行固定的操作，这些操作的顺序可由适当的软件自由编程，而人脑则没有硬件和软件的划分。人脑的运作方式完全是由神经元的整体属性以及它们之间的连接方式决定的。正是脑的功能结构（决定神经元之间的连接方式及各自权重）决定了人脑如何接受信息、作出决策并付诸行动。因此，脑加工信息的方式及其中储存的所有知识，都离不开其功能结构。这是因为，脑的连接模式包含了各种信息，而任何学习过程，例如修改计算程序、更新已有知识等，都必须通过脑功能结构的持续性变化才能实现。以下各种途径：神经元整体属性的改变、脑结构连接方式的变化以及兴奋性和（或）抑制性神经连接效能的调节等，都可以导致这种变化的产生。由此可见，探究知识本源就是要对脑功能结构的专门化及不断修饰的过程进行深入的研究。

脑的发育变化主要分为三种过程：进化、个体发育和学习。尽管这三者在时间进程和生理机制上都有明显的差别，但它们都引起了人脑功能结构的专门化。因此，我们认为这三者就是知识习得的生理机制，换句话说，进化、个体发育和学习就是认知过程。

认知过程的进化论

与机体的其他组成部分一样，脑的结构也经历了同样的“优胜劣汰、适者生存”的进化过程。大自然赋予机体的脑结构实现的是那些能够增加机体适应生存的功能，同时表达这种结构的基因保留下来。通过这个自然选择过程，关于计算操作的有用信息镌刻在脑结构中，并储存到基因里。在机体的每一次发展过程中，这些信息都将通过一个复杂的发展过程由基因传递到特定的脑结构中，然后再由脑结构将这些知识转化为精确的适应性行为。

99

由于进化过程的保守性，神经系统功能结构的基本特征一旦被证明是有效的，则会被保存下来。因此，神经元的总体特征以及信息加工的基本规律自无脊椎动物的简单神经系统形成之日起就没有改变过。这就意味着，连接暂时的偶然性信号（temporally contingent signals）的学习机制等计算策略在进化过程中保持不变。时至今日，我们仍在沿用原始的机体就获得了的可以有效地评价感觉信号并作出正确反应的那些计算法则。在进化过程中，神经系统发生的唯一重要改变是在复杂性上有了显著提高。这种复杂性是由于神经元数量以及神经元之间的连接数量的巨大增长造成的。人脑包含大约 10^{11} 个神经元以及 10^{14} 个神经元连接。每立方毫米脑皮层就含有大约 60 000 个神经元。每一个神经元都与其他 10 000—20 000 个神经元建立联系，并接受来自相当数量的神经元的信息。大部分受这些连接所调节的相互作用发生在相邻的神经元之间，但脑中仍存在大量的长程细胞连接，用以连接脑中相距甚远的神经元。大多数长程连接是高度选择性的，其连接轨道由基因决定。

可见，高度进化的脑功能结构中储存着大量的信息，这些信息的来源之一是进化选择。需要强调的一点是，绝大部分由基因决定的脑结构特征自出生之日起就已经形成。这意味着，新生儿的脑结构中就已经存储了大量的关于信息加工策略的有用知识。感觉器官的功能特异性决定了环境中哪些信号将会被机体接受并进一步加工，而神经系统的功能结构则决定了如何对这些信号进行加工、重组、储存，并最终转化为行为模式。先天知识决定了我们如何察觉和解释感觉信号，评价和引申出规则，在信号间建立连接，确定因果关系，为感觉信号赋予情感色彩，以及我们如何进行推理。新生儿天生具有大量的关于周围世界的知识，这些知识存在于基因决定的脑功能结构中（见 Koizumi，Dehaene and Singer，本书）。因此，他们的脑绝不是一个可以自由塑造的白板。

100

显而易见，对于这种知识的获得我们没有有意识的记忆。它是先天的，决定了人脑的基本操作，包括通过学习而进一步获得知识的过程。它是内隐的，规定了我们感知世界、对现象进行区别和归类的方式。我们既不能通过理性反思质疑这种知识，也不能通过理性反思弃绝脑的先天结构所提供的这些演算结果。即使我们知道，用物理术语讲，频率在 18 Hz 之下和 18 Hz 之上的波只有量的区别，我们的感知系统仍然主观地把这个连续体划分成了振动和声音两个独立的部分。像这样根据神经系统结构预先的推论定式进行主观分类的例子不胜枚举。这些先天观念也可能是非常精细的，不像上面所举的例子那么容易识别。它们往往作为关于周围世界的毋庸置疑的信念出现。当前关于灵长类动物及婴儿的研究旨在揭示这种先天知识的基础。先天知识为后续学习提供了框

架，因此任何改善早期教育的努力都应该考虑到这一点。

经验决定的发展过程

尽管基因对脑结构有决定性的影响，新生儿的脑却是非常不成熟的，直到青春期结束之前，其结构都处在不断的发展中。在出生时，所有的神经元都已经具备，基本的神经连接尤其是长程连接已经形成。然而，脑皮层中的大部分神经元都还没有充分建立连接。只有在出生之后经过几年的发展，脑才最终形成复杂的功能结构。持续不断的神经连接的形成是这一发展过程的典型特征。神经元不断拓展这个从其他细胞（它们的树突）接受信号并把自身的活动信息传递给别的细胞（轴突）从而建立联系的过程。这些连接一旦形成，就将接受功能测试，此后或者不断得到强化，或者被不可逆转地删除。这个确认过程由神经元活动所控制。有些神经元活动在时间上是高度相关的，这些神经元之间的连接更容易得到强化；而有些神经元以相关方式被激活的概率很低，这些神经元之间的连接则很可能会被删除。“共同活动的神经元，就是紧密相连的神经元”。出生之后，神经元网络的活动自然在很大程度上受到当前所接受的感觉信号的影响。这意味着，感觉经验与大脑功能结构的专门化发展过程密切相关。通过这一过程，经验能够塑造神经元连接（关于经验发展的综述见 Singer，1990，1995）。

101

这一过程的不可逆性使得它在我们探讨教育策略问题时异常重要。如前文所述，青春期结束之前，依据功能标准形成并选择神经回路的过程一直存在——但是该过程仅在精确的时间窗内才会发生，且不同脑结构的时间窗也有差异。对于实现感觉信号低水平加工的脑皮层区域，如初级感觉区，神经回路中经验决定的成熟过程自出生后很短的时间就已经开始，而且在最初两年内就基本结束。对于负责语言加工的脑区，发展窗打开的时间相对较晚，且会持续更长时间。起始时间更晚的，则是那些负责陈述性记忆、自我表征以及社会角色分配等功能的中央区。

发展窗一旦关闭，神经元将不再形成新的连接，现有的连接也不再被删除。这就是把极易受经验影响的脑发育时期称为“关键期”的原因（有关关键期的讨论，见本书 Bruer 的文章）。只有在关键期内，脑结构才能依据相应的功能标准得到修饰和优化。一旦关键期结束，新皮层相关脑区的回路将不再改变。失去的连接无法恢复，不适当的连接也无法删除。能够导致这些固化了的结构发生改变的唯一途径就是改变现有神经连接的效能。这种功能性的改变

被认为是成人学习的基础，在青春期之后，这种改变会受到稳固的脑解剖结构的制约。

经验在个体出生之后的成长过程中发挥着重要作用，这一点在感觉剥夺实验的严重后果中得以体现。在预防性使用抗生素的区域，婴儿的眼睛常因围产期的感染而导致角膜或晶状体混浊。因此，这些婴儿失去了轮廓视觉。他们无法从轮廓边缘获得对比强烈的信号，只能获得模糊的亮度变化。由于需要依据对比强烈的边界才能够进行具体的反应，脑皮层的神经元不能对这种亮度上的总体性变化作出很好的反应，因此，从眼睛到皮层神经元这条信息传递渠道上相互连接的神经元活动的相关性很弱。由于相关性的缺失，最初形成的这些神经连接开始断裂，而那些不具备有效功能的连接则恰巧被保留下来，并很有可能形成不恰当的连接。由于缺乏正常的轮廓视觉，视觉皮层中的回路无法正常发展，神经回路无法依据功能标准进行选择，发展进程便停滞在不成熟的非功能化水平。一旦错过发展关键期（猫的关键期只有三个月，婴儿的关键期也只有一年），这种神经连接上的缺陷将无法修复。即使通过外科手术为眼睛植入光学介质也无济于事，因为脑已经无法再对眼睛传递的信号进行适当的加工。动物实验已经表明，剥夺了早期视觉经验，视网膜仍然具有正常的功能，但视觉皮层中的神经网络无法再对输入的活动模式进行适当的加工。晚期恢复视力的儿童，在视觉功能上仍然是个盲人，发展的最好程度也只是具有对光线变化的基本知觉能力。

显然，没有人对语言学习、社会整合等高级认知功能的剥夺进行系统研究，尽管如此，我们仍可以作出下面的合理推断：高级认知功能的获得同样具有关键的机会窗，剥夺高级认知经验同样有害。

尽管人们意识到高级认知功能获得的发展机会窗可能很重要，但是我们对它们的起始时间以及持续时间仍然一无所知。由于掌握这些时间进程对于教育课程的设计非常有价值，发展心理学的研究必将在教育学相关领域发挥越来越重要的作用。

表观遗传回路选择的适应性价值

感觉剥夺实验对脑结构发展带来的显著效应引发了如下问题：自然界为什么会形成把成熟中的脑暴露在感觉经验危害中的这种发展机制？原因可能在于，这种向经验影响开放的发展过程使得人们有机会获得仅仅依靠遗传基因无法获得的功能，还可以弥补信息剥夺可能造成的危害。对视觉功能发展过程的

考察支持了这一观点。

103 包括人类在内，眼睛在正面的动物都具有把两个视网膜上的图像融合成单一感知对象的能力。

这至少能带来两大优势：首先，通过两个相互独立的感觉通道的对比，大大提高了感知过程的信噪比；其次，形成立体视觉，通过两个视网膜上图像差异的对比，可以获得精确的深度信息，从而形成空间视觉。为了实现这种无疑能够提高生物适应性的功能，双眼和视觉皮层之间必须通过精确的方式形成具体的连接。必须保证对视野中同一个点进行编码的神经节细胞——由于动物都是通过双眼来注视——精确地汇聚到同一个皮层的神经元。用专业术语来说，就是必须保证来自视网膜相应位点的输入传递到相同的皮层细胞。有争论认为，仅仅通过遗传基因不可能形成这么精确的连接模式。在成熟的视觉系统中，视网膜上哪个位置能被激活取决于很多因素，比如眼间距、眼球的具体大小以及眼球在眼窝中的具体位置等。这些因素又取决于许多后天因素，比如在子宫中依赖于营养的生长过程以及其他环境因素的干扰。因此，不能依据基因决定的发展过程对它们进行精确的预测。然而，有一种精妙的策略可以确定神经联结传递的信号究竟来自哪一个视网膜区域，那就是考察它们之间的相关活动。每次清晰的注视（definition），源自视网膜相应区域的输入就会被视野中相同的轮廓激活。因此，当动物用双眼注视同一个形状时，这些输入传递高度相关的激活模式。从众多不同的输入中选择出那些能够传递最相关活动的信息，这一机能保证了从视网膜相应位点输入的信息进行选择的稳定性。这正是发展过程中对从眼睛到皮层细胞之间的输入进行选择的机制。这个特殊的案例说明，经验也是影响神经回路发展的一个因素。

相关研究表明，在神经系统的其他发展过程中，神经回路的选择同样依赖于经验的作用。通过对能反映经常发生相关活动的一组神经元之间的神经连接的选择性强化，外部世界中的联系就能够被转化为神经连接结构。这样，神经系统可以学习到环境中的偶然事件（contingency），并把这些知识储存到加工结构中去。这些知识还可以进一步被用来建构关于外在世界的各种具体性质的

104 种种假说。通过对脑功能结构的表观遗传塑造，机体能够使自身的神经结构更加适应它们的生存环境，这大大节约了为了应对来自各种环境的特定挑战而必须投入的计算资源（参见 Dehaene，本书）。

语言学习为认知过程的这种经验决定的适应性提供了有力的证明。母语环境致使语言解码和产生所需的加工结构发生不可逆转的改变。儿童因此形成了关于母语韵律和典型音素的特定图式。这使得他们能对说话者连续的语音流进

行快速、自动化的分割。对于较晚习得的第二、第三语言，情况就不同了。在这种情形下，分割不能自动进行，而需要注意控制，这就是为什么人们要听懂晚期习得的外语环境中多人会谈内容时需要付出更多努力的原因。加工结构的形成是不可逆的，一个特别典型的例子是亚洲人难以分辨辅音“R”和“L”。他们几乎无法听出这两个辅音的区别，因为在亚洲语言里它们被划分为同一个音位类别（参见 Goswami，本书）。有证据表明，一旦过了母语习得的关键期，通过学习掌握这些音位的区别也是非常困难的——即使存在可能性。

认为脑功能结构会产生后天的经验决定的改变这一观点，与单纯依赖基因限定的发展过程相比，有两个主要的优势。首先，通过环境信号的影响，可以使得神经系统的功能有效性以及连接的优化达到仅仅依靠基因无法达到的水平。否则有些功能将无法实现。其次，发展过程中包含了环境的影响，便于加工结构更好地适应来自生存环境的真实需求。这些选择显然过度补偿了与脑结构的后天改变相关的各种风险。

内部选通系统对经验决定的发展过程的控制

正如大家所期待的那样，发展中的脑具有保护自身免受不适当经验对其结构带来不良影响的机制。显然，它无法避免自身受到信息剥夺的危害，因为信息缺乏是无法补偿的。然而，自然赋予脑的强大机能使得它能够排除那些被认为是不适当或相互冲突的环境信号对其结构的影响。发展中的神经回路由于活动而进行改变（强化或消退）的过程中，分子间相互作用形成的复杂信息流都需要由神经元活动的触发。这些高度复杂的分子加工链反过来受到各种来源的信号控制，这些信号决定了神经元活动是否能够转化为解剖结构的持久性改变。这些选通信号来自始于其他加工区域的反馈体系以及控制整个脑状态的调节系统，调节脑活动的因素主要有注意、刺激奖赏值（reward value）以及行为的相关性等。这些控制系统确保环境中只有那些满足发展中的脑的预期和需求的信号才能够导致神经回路的改变。

对视网膜的相应输入进行经验决定的选择过程也是一个很好的例子。该选择过程只有在幼儿还处于不转动眼睛而用双眼盯着目标的阶段内才能实现。只有在这个阶段内，视网膜相应区域的活动才是真正相关的。因此，需要确保神经环路的选择过程也发生在幼儿对眼睛进行适当调整的阶段。为了保证这一点，有多种平行的控制机制在发挥作用。在基因引导的基础上，双眼的输入早在经验决定的精细调节的关键期之前就已经建立起粗略的信息连接。结果，与

双眼没有建立正确的连接相比，如果呈现在双眼上的图像能够进行初步的信息交流，那么神经网络的活动就能够更协调一致。由于强烈的、能够协调的神经活动比微弱的、不协调的活动能够更有效地引起神经回路的变化，当双眼接近最佳状态时，神经回路更容易发生改变。此外，无论眼睛休息还是转动，眼周肌肉中的视觉延伸接收器都会有信号输入。这些信号同样在对输入联结进行应用性（use-dependent）选择的过程中发挥重要的作用。最后，还需要多个调节系统的活动，这些活动具有唤醒和维持注意的功能。这些调节系统的活动保证了只有那些被个体注意到的或反映典型行为的信号才能导致神经回路的持续性变化（参见 Ponsner et al.，本书）。因此，由基因决定的脑结构中存在的先验知识被用来选择环境信息，这些环境信息适于经验塑造的脑结构。发展中的脑知道哪些信号的性质可以用来优化自身的回路。因此，为了促进自身发展，脑也参与到寻找所需信号的活动中。所需信号的性质随着各种发展机会窗的时间进程而改变。相应地，只有那些满足当前发展进程所需要的信号才能引起神经回路的改变。由此可见，发展中的脑在整个经验决定的发展过程中都掌握着主动权。在每一个特定的发展阶段，它都会设定特定的问题，有选择地注意特定的输入模式，为回路的最优化而接收那些符合预期的信号（相关文献综述请见 Singer，1990）。

106

这些观念对于教育课程的设计具有深远的意义。显然，信息剥夺在任何一个发展阶段都会带来灾难性的影响。但是，同样显而易见的是，这并非主张在尽可能长的时间里给予尽可能多的刺激。发展中的脑将只利用它真正需要的那些信号，提供过多的、过于多样化的信号有可能带来下面的风险：产生干扰效应，使得脑难以集中于它所需要的信号上。一种更加有效的策略可能就是去仔细观察孩子们的自发行为，发现他们在不同的发展阶段需要什么，兴趣在哪里，进而提供尽可能易于理解的、清晰的答案。孩子们成功发展所真正需要的东西很容易从他们的情感取向上揭示出来。他们不仅自发地寻找需要的信号，还会对有用的刺激作出积极的情绪反应。各种发展机会窗的时间进程可能存在较大的个体差异，因此重要的是要找出每个具体的孩子在何时需要怎样的信息以更好地促进脑发育。这些信息可以通过仔细地观察哪些活动能够吸引孩子的注意并激起他的兴趣而获得。

休息和睡眠在经验决定的脑发育中的重要作用

人们早已发现，睡眠有益于巩固记忆。在过去的几十年里，这个观念已经

得到了严格控制的实验研究的强力支持。睡眠是一个高度结构化的活动过程，积聚了一天的记忆痕迹可以通过睡眠得到重组和巩固。神经生理学研究表明，学习过程中的活动模式在特定的睡眠阶段得到了重复，研究人员认为，这种重复促进了记忆痕迹的巩固（Louie & Wilson，2001；Hoffman & McNaughton，2002）。有趣的是，不仅陈述性记忆（比如有意存储的记忆）的巩固需要睡眠，通过程序化学习（例如通过练习）而习得的能力也需要睡眠来巩固。知觉学习就是一个很好的例子。如果被试练习某种特定视觉特征（比如轮廓的定位）的识别，经过一段时间，他们在这一特定知觉任务上的成绩会得到提高。这种能力的提高依赖于视觉皮层神经元反应属性的改变，这也需要通过睡眠来巩固。如果训练后剥夺了被试的睡眠，他们的成绩就不会改善（Ahissar & Hochstein，1997）。

107

更让人惊奇的是，越来越多的证据表明，在脑发育过程中经验决定的神经元结构的改变同样需要通过睡眠来表现和强化。证据同样来自视觉剥夺实验。早期的实验发现，小猫只短暂暴露在视觉环境中一段时间，接着允许它在黑暗中休息，视觉经验对小猫皮层神经元的反应属性会产生深刻的影响，但如果小猫持续地暴露于同样的视觉环境中，经过了同样的时间，其皮层神经元所受的影响则相对较弱（Mioche & Singer，1989）。另外一项研究发现，即使暴露在通常能够引起神经回路巨大改变的视觉条件下，如果实验动物在暴露之后被麻醉从而阻止它的正常睡眠，那么神经回路将不会发生改变（Rauschecker & Hahn，1987）。近期的一项研究提供了直接的证据，通过干扰快速眼动睡眠这个特定睡眠阶段，就足以打断经验决定的神经回路的选择过程。可见，经验决定的脑发育过程和一般的学习记忆过程一样离不开睡眠（参见 Cardinali，本卷）。

这个来自动物实验的证据应该可以影响到托儿所工作计划的编排组织。可以预期的是，孩子们需要间断性的休息，并且在经历了特别强烈的活动后可能需要睡眠。因此，可以考虑这样组织托儿所活动，即允许孩子们依据自身的需要休息或者小睡。据我所知，关于孩子的睡眠模式、学习以及脑发育的相互关系等问题目前还没有系统的研究，但是来自动物实验的数据有力地说明，即使在发展过程中，休息和睡眠都具有重要的作用。

108

成人学习的脑机制

上文已经提到，一般认为，成人的学习依赖于兴奋性和（或）抑制性神经连接效能的改变。学习造成神经元之间连接强度改变的调节机制非常类似于

经验决定的发展过程中基于活动的神经回路改变。如果神经元以相关联的方式放电，神经元之间的兴奋性连接会得到增强；反之，如果这些细胞活动是不相关的，兴奋性连接就会减弱。负责评估神经元激活模式的时间相关性并把这些信息转化为连接强度持续性改变的分子活动过程大体上类似于脑发育中促进基于活动的神经回路选择的过程（参见综述 Singer，1995）。主要的区别在于，对于成人，神经连接的弱化不再伴随着连接的消退，而且不会形成新的连接。然而，也有一些例外情况。在过去的几年里，有证据表明，在一些独特的脑区，包括海马的部分区域以及嗅球，神经元的产生持续终生，这些神经元不断形成新的连接，并融入现有的回路中（ Kempermann，1997）。因此，在这些独特的脑区，发展过程持续终生。至今仍不清楚的是，为什么这种情况只出现在这些特殊的区域，而不是脑皮层——大部分与学习相关的神经联结改变所发生的地方。

成人学习类似于经验决定的脑发育过程的地方还表现在对注意机制、奖赏系统以及睡眠的依赖上。因此，所有为提高成人学习过程而形成的策略对于促进儿童经验决定的脑发育过程同样是有帮助的。目前需要做的是把神经生物学实验中积累起来的有关经验决定的脑发育过程的知识运用到教育规划中去。这需要加强发展心理学研究以及无损伤技术在儿童脑活动评估中的应用。像 EEG、MEG 以及 fMRI 等技术已经有效地用于儿童实验研究（其他技术如 NIRS、OT，见 Koizumi & Petitto，本卷）。这些方法将有助于更清晰地界定各特定脑功能发展的敏感期，并为优化经验决定的脑发育过程设定适应性策略。

109

参考文献

Ahissar, M. and Hochstein, S. (1997). Task difficulty and the specificity of perceptual learning. *Nature*, 387, 401–406.

Hoffman, K. L. and McNaughton, B. L. (2002). Coordinated reactivation of distributed memory traces in primate neocortex. *Science*, 297, 2070–2073.

Kempermann, G., Kuhn, H. G. and Gage, F. H. (1997). More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment. *Nature*, 386, 493–495.

Louie, K. and Wilson, M. A. (2001). Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep. *Neuron*, 29, 145–156.

Mioche, L. and Singer, W. (1989). Chronic recordings from single sites of kitten striate cortex during experience-dependent modifications of receptive fieldproperties. *J. Neurophysiol.*, 62, 185–197.

Rauschecker, J. P. and Hahn, S. (1987). Ketamine-xylazine anaesthesia blocks consolidation of

ocular dominance changes in kitten visual cortex. *Nature*, 326, 183–185.

Singer, W. (1990). The formation of cooperative cell assemblies in the visual cortex. *J. Exp. Biol.*, 153, 177–197.

(1995). Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science*, 270, 758–764.

第七章

时间节律教育：生物钟如何影响学习过程

Daniel P. Cardinali

概述

神经科学研究对于提高儿童和青少年学业成绩有很大帮助。例如，我们都知道感觉剥夺会严重损害记忆以及很多技能的学习，同时，也会使个体的情绪和认知能力严重受损。多数城市环境都会给许多人造成睡眠剥夺，现代社会24小时连续工作将会威胁人类的健康行为。尤其对于青少年，由于在学校期间睡眠（由于工作或娱乐）较晚而上课较早，这使得他们的睡眠越来越少。目前这种作息模式不符合人体内部生物钟和生物节律，这是哺乳动物经过几百万年的生物适应所形成的。比如，当人体温度达到最低时，人类显然还没有准备好醒来。另外，人类这种睡眠和醒来的循环模式会随着年龄的变化而变化。青少年作息行为变得越来越像猫头鹰，他们一天中最佳的时间通常在晚上。这就是为什么他们早上犯困，快下课的时候，他们又会变得非常清醒。通过关注这些时间节律教育的事实，学校可以把学生每天的节律和学校的时间表更好地联系起来从而改善学生的学习。

——编者

人类很多生理机能以每天、每月或每年的周期盈亏循环着的。这种周期性的循环并不是对外部环境变化的被动反应，而是反映了机体的生物节律性。它是机体追踪时间变化并相应改变机体功能的能力。

周期性循环的生物钟是最不可缺少的生物功能之一

生物钟是动物在大约每隔 24 小时不断重复的生物节律（也称周期节律，源于拉丁文 cira，dies 与日相关）的基点，同时，也是动物每年随着季节变化而产生的节律性变化的原因。所以，当动物在其日夜行为以及不同季节间行为进行变换时，它们不仅仅是被动地对外界的光照条件进行反应。它们这种行为的周期变化是对基因中“生理节律定时器”发出的信号所产生的反应。这是与地球的旋转周期同步的，它支配着动物日夜行为的变换，同时它也支配动物行为状态和生理机制进行适当的变化。这样，这种“生理节律定时器”创造了一种反映外部世界日夜周期变化的内在机制。

过去 10 年中，研究者在确定生物钟的分子成分方面取得了重大的进展。研究发现，生物钟功能的分子机制在细胞中是普遍存在的，它由基因—蛋白质—基因反馈环路组成，在这一环路中，蛋白质自上而下地调节自身的复制，同时刺激其他生物钟蛋白的复制（Hastings，Reddy，& Maywood，2003）。

虽然动物的生理节律是由基因控制的，但是这些节律与外部环境同步或者与外部环境的周期性有一定的关系，例如，动物的睡眠与日夜变化紧密相连。当然，当外部时间线索被抑制或被除去后，比如在一个完全与世隔绝的环境中或者持续明亮或黑暗的环境中时，这种生理节律会以不同于 24 小时周期的形式继续进行。

关于动物和人类的研究表明，只有很少的环境线索，比如日夜循环，对他们的生理节律性震荡授时因子是有效的归化因子（entraining agent）。每一种归化因子实际上可以重新设定内部生物钟或变换生物钟的周期性。有机体的生理节律可以被提前、推迟或是不发生变化，这取决于有机体何时遇到这种归化因子。所以，在周期震荡作为一个重新设定的影响因素的条件下，动物将每天的行为模式调整到最佳时机也是周期性变化的（Murphy & Campbell，1996；Cardinali，1998；Asayama et al.，2003）。

对于哺乳动物而言，这种层级性的周期性震荡主要由下丘脑的视交叉神经控制。它的生物节律如一个多功能时间调节器，根据 24 小时的周期循环，调节着机体的平衡系统，包括睡眠、觉醒、荷尔蒙的分泌以及其他各种身体功能（Rusak & Zucher，1979；Murphy et al.，1996；Cardinali，1998；Hastings et al.，2003）。

112

周期性机制在现代人身上依然存在

早在150万年前，人类的祖先（直立猿人）就以山洞作为庇护所，并可能已经开始使用火。约在45 000年前，智人开始建造人工居所，这些人工居所可以帮助他们抵御日光的照射；早在28 000年前，他们开始使用灯具，这样他们就可以在夜间照明，从而过着如白天的生活。在过去的200多年里，人类已经发展出越来越有效的照明灯具，并找到了更为廉价的照明能源。同时，他们的活动也越来越多地从郊外移到城市内，从室外移到室内，他们可以在日光照不到的地方进行活动。这样，人类日益摆脱了由于在这个具有几十亿年历史的星球上生活所产生的日夜自然周期变化而塑造的身体内部周期变化的影响。

但是，如果能恰当地利用光照，则可以对人类的生物钟产生深远的影响。在实验研究中，上半夜强烈的光照可以推迟正常志愿者的生物周期；而在黑夜快结束时进行光照则会使这种生物节律提前；在其他白天时间进行光照时则不会对这种节律变化产生影响（Rusak et al., 1979; Murphy et al., 1996; Cardinali, 1998; Hastings et al., 2003）。

退黑素是松果腺分泌的一种荷尔蒙激素，它是机体对夜晚的内部化学代码，它对光线表现出相反的相位反应曲线，这就使得上半夜的相位会提前，而在下半夜则会推迟（Cardinali, 1998）。实际上，退黑素是能够重置被称为“时间生物学”（chronobiotics）的生物钟的一种化合物的内在原型。退黑素已经被应用于病理学中来打破生物周期性，比如盲人与老年痴呆症，这已经得到了法律的批准（Cardinali, Brusco, Liberczuk, & Furio, 2002）。

对于健康人而言，在无数影响生理节律的周期性变化中，它们的峰值都会出现在白天的特征序列上（相位图）。这种序列以及间隔反映了机体各种加工过程交互影响中因果关系的时间和顺序，同时它也是机体健康的指标。（Cardinali, Jorda Catala, & Sanchez Barcelo, 1994）。当人类迅速迁移到一个新的地理位置，或者进行换班工作，或者突然由白天工作变为夜间工作时（这在青少年中经常发生），人类需要被迫进行相位调整，那么他们的相位图可能就要被短暂地打乱。

这种条件下，构成机体24小时周期相位图的各种成分不会重新设定相位来适应新环境的时间变化，而只是稍微调整了彼此之间的关系。它们只有在当

113

地的时间变化环境下适应几天后，才能根据当地时间来重新设置相位。那些经

常长途跋涉越过好几个时区旅游的人对这种现象应该非常熟悉。这种由于长途旅行而造成的生活节奏混乱并需要经过数天逐渐调整适应的现象被称作“时差反应”（jet-lag）（Hastings et al.，2003）。

睡眠和清醒是人类最显著的周期性节律变化

睡眠是维持生命不可缺少的过程。从行为状态上它被定义为：（1）身体的完全放松；（2）感觉阈限提高；（3）会产生一些特殊的脑电信号（图7.1）。

关于睡眠的作用，主要有两种理论比较重要，它们互不排斥：（1）认为睡眠是脑新陈代谢的休整和恢复；（2）认为睡眠有助于增强记忆和学习。

理解睡眠的难点在于，它不是一个单一的状态，而是两种亚状态的复合体：一种状态下会有快速眼动（快速眼动睡眠）；另一种状态下没有快速眼动，被称为非快速眼动睡眠或慢波睡眠（图7.1和图7.2）。任何一个睡眠阶段都是这两种状态交替变换的：对成人而言，非快速眼动睡眠的时间大约在90—100分钟（图7.2和图7.3）（Hobson & Pace-Schott，2002；Pace-Schott & Hobson，2002）。

根据脑电波变化情况，我们可以将非快速眼动睡眠分为四个阶段。第一个阶段是浅睡眠阶段，这一阶段脑电波幅较小，频率较高；第二个阶段会出现睡眠锭（sleep spindles），这个阶段比第三个和第四个阶段更浅，脑电主要是慢波活动（图7.1）；人类快速眼动睡眠阶段类似于非快速眼动睡眠的第一个阶段，脑电波幅较小，频率较高。在这一状态下，所有自发性肌肉的活动状态都处于最低，但是，自主神经系统和眼部肌肉有较高的活动性，这就使人在快速眼动睡眠时如同清醒时一般。因此，人们把快速眼动睡眠称为“似非而是的睡眠”（paradoxical sleep）。对所有哺乳动物而言，睡眠都是以非快速眼动睡眠阶段开始的，中间会有规则地发生快速眼动睡眠。对于成熟的人类个体来说，他们每晚的睡眠都是由四到五个这种循环周期构成的。就人类而言，当他们保持清醒的时间被延长时，那么在他们睡眠的第一个循环周期中，脑电主要表现为高压、慢波活动（也就是说，非快速眼动睡眠状态得到增强），而最后一个周期表现为低压、快波活动（也就是快速眼动睡眠状态得到增强）（图7.2和图7.3）（Hobson et al.，2002；Pace-Schott et al.，2002）。

清醒，快速眼动睡眠



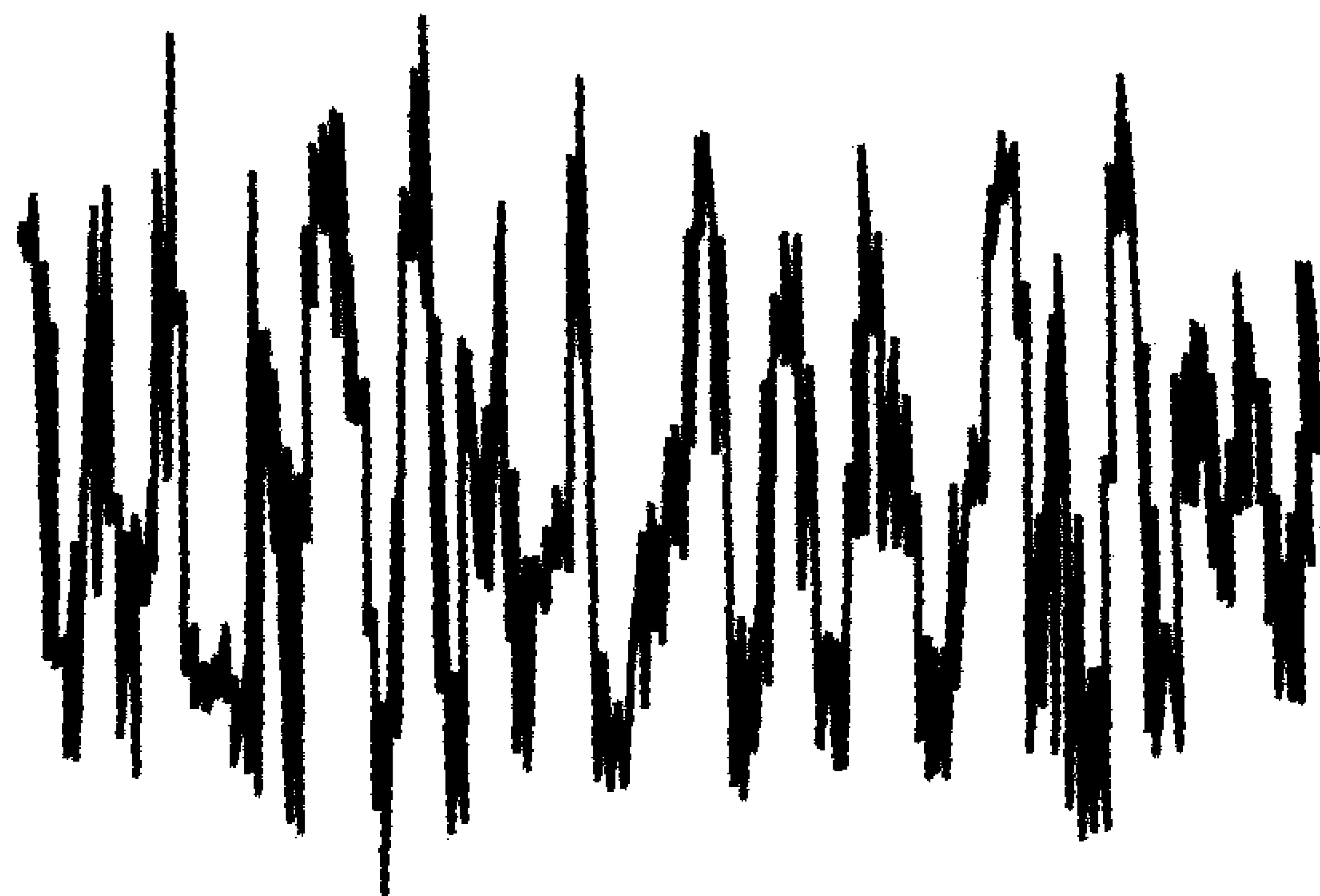
20—40 赫兹节律

睡眠第一阶段



7—16 赫兹节律

睡眠第四阶段



0.5—4 赫兹节律

图 7.1　清醒和睡眠各阶段典型的电生理记录

在非快速眼动睡眠和快速眼动睡眠周而复始的循环过程中，也伴随着有机体所有生理系统的变化。事实上，也可以说我们生存在三种连续的不同状态下：清醒状态，非快速眼动睡眠状态和快速眼动睡眠状态。对于一个活到 75 岁的人来说，他大概有 50 年时间处于清醒状态，19 年时间处于非快速眼动睡眠状态，6 年时间处于快速眼动睡眠状态。对于这三种状态间的显著生理差异我们也进行了研究。在非快速眼动睡眠阶段，机体血压、心率、呼吸频率都会减少；而合成代谢荷尔蒙（如生长激素）的脉冲释放则伴随着免疫力的普遍

提高。这些事实的存在使我们有理由相信非快速眼动睡眠阶段与机体的合成代谢及细胞保护（cytoprotective）功能有关。大脑的耗氧量降低 20%—30% 时，自身的活动就会减退，类似于轻度麻醉状态下看到的那样。在非快速眼动睡眠状态下，合成各种神经营养因子（neurotrophic）。(Mazzoni et al. , 1999; Peigneux, Laureys, Delbeuck, & Maquet, 2001)。

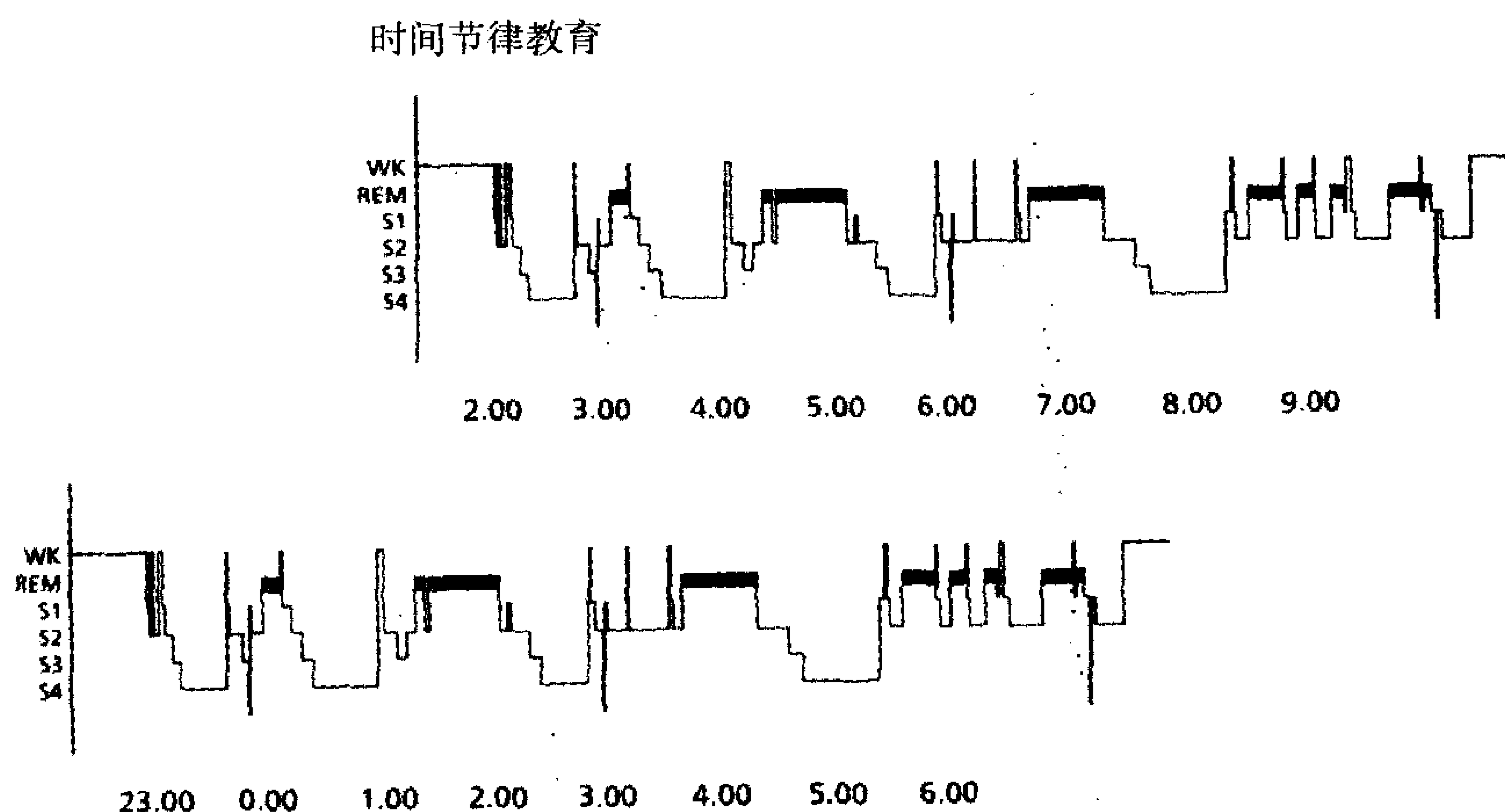


图 7.2　包含多个阶段的睡眠结构图。与成年人相比（上一栏），青少年（上一栏）睡眠整体特征相位推迟了。WK：清醒。REM：快速眼动睡眠（黑色线条），S1-S4：非快速眼动睡眠第一阶段到第四阶段。

相比之下，快速眼动睡眠是与机体非平衡状态相关的。控制心脏血管、呼吸和体温调节的调节机制的能力下降。心率和血压增加，呼吸频率变得不规则。在这一阶段，伴随着脑与自主神经系统的激活以及躯体运动肌肉受到抑制，男性和女性的生殖器也会兴奋。即使对于较少或者从未自发回忆起梦境的个体来说，当从活动性睡眠或者快速眼动睡眠中醒来时，他们也会非常清晰地报告梦境。这就表明，在睡眠的这一阶段脑非常活跃，同时进行着非常复杂的心理加工过程。另外，这也有力地反驳了脑的多数区域在快速睡眠阶段进行休息的观点。事实上，此时脑的很多区域（比如边缘系统）都比个体在清醒时激活更强（Hobson et al. , 2002; Pace-Schott et al. 2002）。

伴随快速眼动睡眠的一个显著的生理特征是温度调节的消失。如果周围和中心温度开始下降，那么睡眠将被打断。但在快速眼动睡眠阶段，躯体温度调节过程不能发挥作用。所以人类是恒温动物的观点并非永久真理。因而，至少在生命的某个阶段，我们与蛇类似。如果躯体和自主神经系统分离的逻辑存

在，那么，睡眠的这个阶段是不利于个体生存的。

116

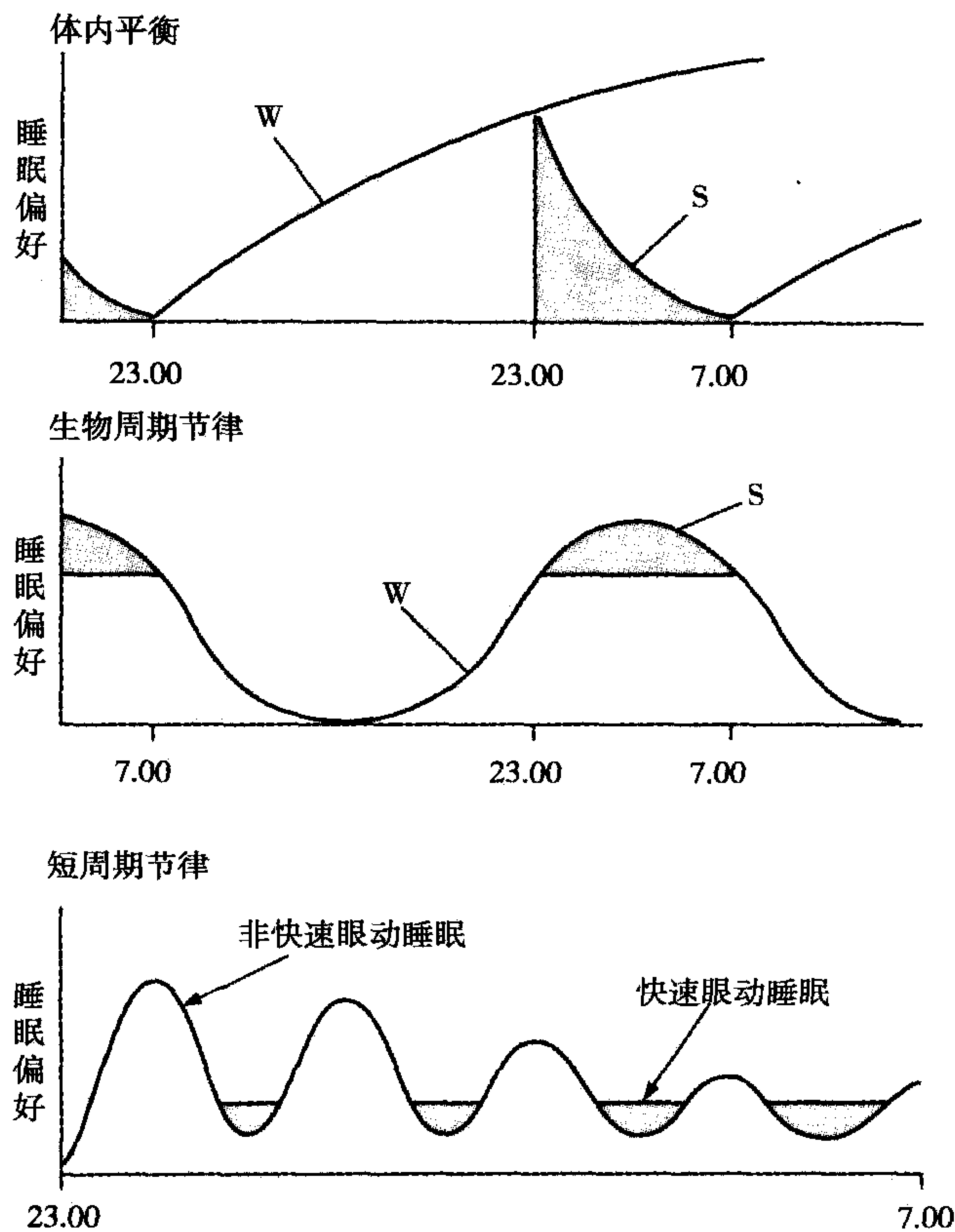


图 7.3 影响睡眠次数、持续时间、深度或强度的三个交互影响的过程：体内平衡影响睡眠的持续时间和睡眠强度，生物周期节律决定睡眠的次数，短周期节律主要是由非快速眼动睡眠和快速眼动睡眠序列引起的。

117　睡眠有几个方面是机体恢复所必需的，包括连续性、时间的选择以及睡眠各阶段的模式。例如，如果临时要求被试的睡眠由 8 小时增加到 10 小时，但是，每隔 15 分钟让他们清醒一会儿，那么，第二天他们会感到非常疲劳，同时情绪也会发生变化，就像睡眠不足一样。同样，如果一个被试有充足睡眠，但是剥夺他们睡眠的某一阶段，如快速眼动睡眠阶段或慢波睡眠阶段，第二天他们也会报告有注意缺失（Hobson et al.，2002；Pace-Schott et al.，2002）。

有三个相互作用的过程调节着睡眠时间的选择、持续时间以及深度或是强度，它们分别是：将睡眠的持续时间和强度维持在一定范围内的体内平衡过程，决定睡眠时间的昼夜节律，以及由快速眼动睡眠和非快速眼动睡眠的转换

带来的短周期节律（图 7.3）。机体的平衡过程也依赖于及时的记录：包括与上个睡眠阶段的时间间隔以及上个睡眠阶段的强度。这就使人进入睡眠的状态随着上次睡眠结束后持续时间的增加而呈指数增加。一旦睡眠开始后，它又会指数性下降。这也就证明了睡眠和清醒的循环性本质，同时把睡眠和其他生理需求如饿和渴放到了同等重要的地位。因此，平衡机体的睡眠需要控制非快速眼动睡眠而不是快速眼动睡眠。

相反，生理节律的相位和幅度则与先前的睡眠记录无关，它主要是由交叉神经控制的（SCN）。人类睡眠倾向性的周期节律与体温节律大致相反：当睡眠的倾向性和睡眠的连续性最高时，人的体温接近最低温度。

当我们考虑睡眠调节时，也应当考虑各种适应性因素，包括那些不受清醒时间以及生物节律影响但又影响我们睡眠的各种机制。这些适应性因素根据外部环境变化调节着人类睡眠和清醒的循环过程，这对个体非常重要。这些因素包括行为因素，如动机、注意、对环境的其他心理反应（如床的舒适性、社会活动）、噪声、环境温度、体育运动和食物摄入量等（Hobson et al. , 2002；Pace-Schott et al. , 2002）。

人类的生理节律系统对教育过程的影响

118

与学习相关的生理节律系统的一个非常重要的原则是，它要逐渐应用到学校作息时间的改变上。因此，对于那些经常在上学、周末和假期之间快速变换作息时间的青少年，他们经常面临生理节律问题（Sadeh, Gruber & Raviv, 2003；Shin, Kim, Lee, Ahn, & Joo, 2003；Carskadon, Acebo, & Henni, 2004）。与教育相关的生理节律系统的另一个一般原则是，我们更容易推迟作息时间而不是提前。这就是为什么我们在周末容易熬夜到很晚，并起得很晚；这也是为什么跨越两三个时区到西部要比到东部更容易（Cardinali et al. , 1994；Hastings et al. , 2003）。

这些原则与青少年睡眠模式间的关系很容易理解。很多青少年在学校时要起得很早，很晚才入睡，但在周末或假期他们要突然打破学校的作息习惯。例如，一个典型的阿根廷少年周末经常在凌晨 3 点上床，一直睡到中午。几天之内这就会推迟他们的生理节律，使他们在假期时能保持清醒到凌晨 3 点。假期结束后，他们要较早起床去上学，他们需要适应数天才能完全调整好体温和激素分泌节律。

因此，对于很多青少年，特别是那些经常睡懒觉或每周偶尔迟到旷课的学

生，他们往往会出现时差反应的症状，比如感到疲劳，晚上入睡困难，早上很难醒来。最严重的情况被称为睡眠周期延迟综合征（sleep phase syndrome）。这时青少年及其家人会与上学时睡得晚、起不来而斗争数月（图 7.2）。事实上，青少年也尽力在他们体温最低时醒来，虽然这时他们的身体还没有做好准备。一个值得我们考虑的重要原则是，睡眠/清醒转换频率的缓慢、稳定和一致性的变化使得机体生理节律系统能调节到一个更为合适的状态。

睡眠强烈地影响教育

当我们在教育背景中来考虑睡眠时，很多相关方面就显现出来。首先是睡眠与学习之间的关系。许多研究发现，在人类完成学习任务之后，睡眠的时间或结构会增加（Carskadon et al.，2004）。例如睡眠中非快速眼动睡眠出现的数量与实验中记忆词汇的数量成正比（Mazzoni et al.，1999）。迷宫学习实验表明，这会增加第二阶段的睡眠以及随后睡眠中脑电慢波的活动（Peigneux et al.，2001）。同样，完成词汇记忆任务后被试睡眠中睡眠锭的数量也会增加，并且记忆成绩与睡眠锭的数量成正相关（Gais，Plihal，Wagner，& Born，2000）。一个非常有趣的现象是非快速眼动睡眠的第二阶段主要是慢波脑电，研究发现它与人类很多技能的学习成正相关。

119

另一个与人类很多方面的发展相关的重要睡眠原则是，睡眠与对威胁/安全的感知关系密切。睡眠从行为层面来看，它主要表现为意识的丧失以及对外部环境反应的停止。人在睡眠过程中，从丘脑水平上对外部环境刺激的反应就停止了，这样机体也就难以知觉外部环境的潜在危险，从而也就不能作出相应的行为反应。结果，很多物种便进化出一种保护机制，这种机制会使它们在一种安全而不受捕食者威胁的小环境中睡眠。当它们感觉到危险信号时，它们的唤醒水平就会提高，从而不会再入睡，这对它们也非常有意义。睡眠与安全的这种关系在临床上与睡眠障碍也有一定关系。

在人类祖先的生存环境中，紧密相连的社会群体能保护他们免受捕食者的危害。这种环境下，个体意识到群体归属对于个体安全非常重要，这样也就使得人脑不断进化。现代社会，人类的自然趋向也反映出了这种现象。比如，当人面临社会压力时，人就会有强烈的危险感觉，而且睡眠紊乱。但是，当人感受到社会关爱时，这种社会的联结就会使他们有安全感，并且也会改善睡眠状态。因此，在人的发展中，探讨人对安全与危险信号的感知及其中断睡眠变化的能力就很重要。个体警惕性或对危险信号的知觉和反应系统在青春期会有显

著提高，这可能是因为随着对危险评估能力要求的提高，青少年已经为扮演成人角色做好生理上的准备。

另一个需要我们考虑的方面是，在现代"24 小时的社会"（24-hour society），我们的睡眠时间日益减少。在现代社会，人类使用人工照明可以在夜晚进行活动而不用睡觉，他们生命的大部分时间都坚持这种夜晚较短睡眠时间的作息方式。这种情况下，他们躺下后会很快入睡，然后不被打扰地睡到早上醒来。我们往往认为这种睡眠对现代人来说是唯一正常的睡眠方式，它被高度压缩且比较高效。这种睡眠有效利用了我们在床上的几乎所有时间。但现代人的睡眠时间比他们应该分配的时间少。在人工长夜环境下，当人体处于一种比较稳定的状态时，他们睡眠时间平均每晚 8.25 小时，而这比现代大部分人的实际睡眠时间要长。这一发现也揭示了一个事实，那就是现代人处于一种睡眠剥夺状态，他们在白天的清醒程度较低（Hobson et al.，2002；Pace-Schott et al.，2002）。

120

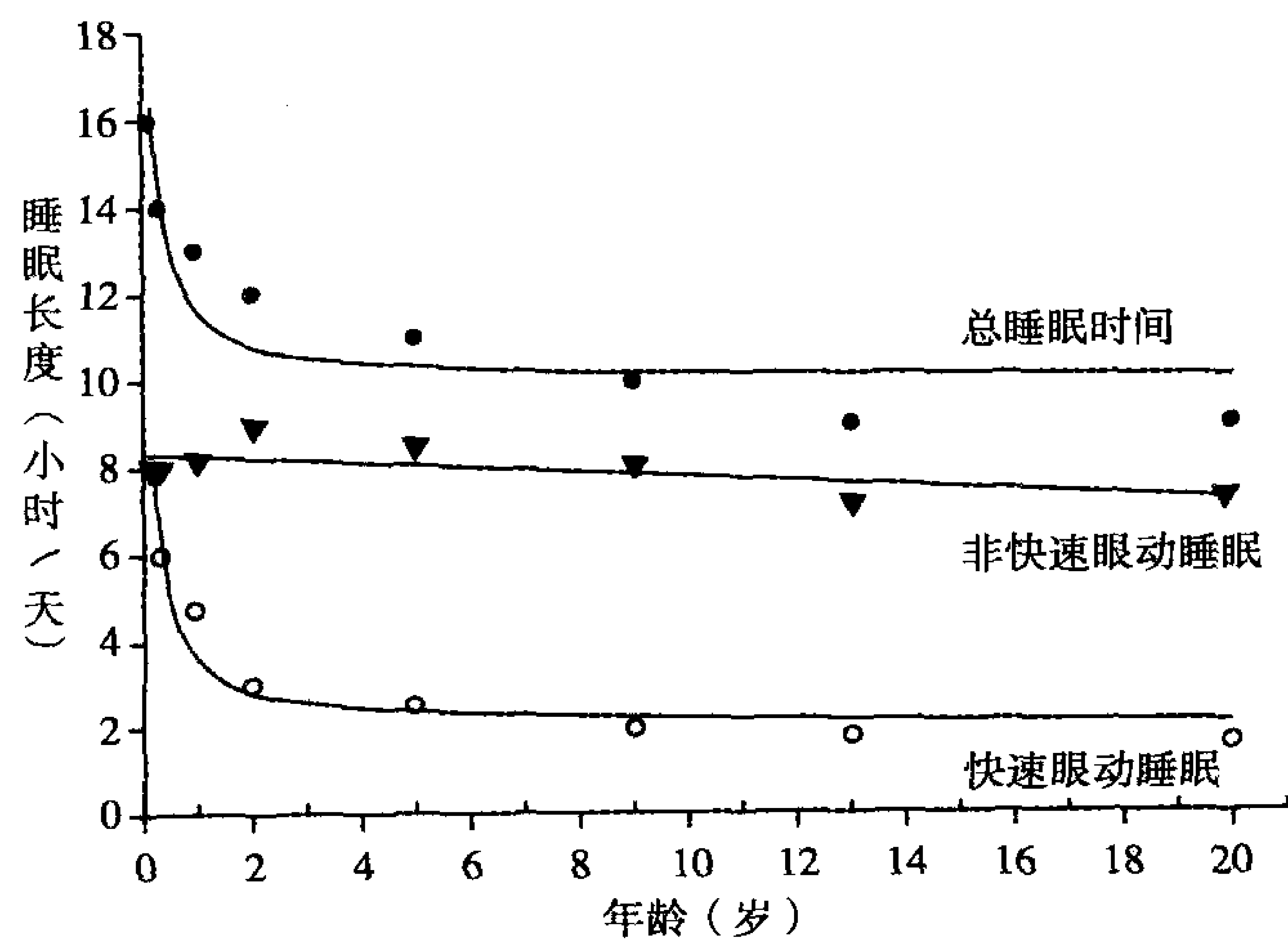


图 7.4　从出生到青少年晚期总睡眠时间、非快速眼动睡眠和快速眼动睡眠持续时间

很多其他动物的睡眠和人类是有差别的。它们的睡眠是多相的，也就是说它们每天要睡好几次。实际上，大多数人将多相交替的睡眠（中间会有几段时间清醒）现象看作是不正常，也不希望这么做的。但是，对长夜中正常被试的研究表明，人类的睡眠也可以是多相的。在长夜中，当人们从快速眼动睡眠阶段（伴随有梦，个体比较紧张）醒来后通常进入休息和冥想的阶段。据此我们可以推测，在史前时代，这种现象为人类梦境与现实的交流提供了一个渠道，但是现代社会中，人类日益压缩他们的睡眠，这一交流渠道就逐渐被关闭了。如果是这样，那么这也许就是当代人为什么不再有喷涌的神话故事和奇

思妙想的生理原因。

年龄相关的（发展）过程对睡眠的调节也有深远的影响

121 新生儿每天的睡眠时间在14—16小时，到18岁时他们每晚的睡眠时间会减少到约8小时（图7.4）。1岁儿童每晚的睡眠时间为11—12小时，并且在白天会有两次小睡共计2.5小时。3岁儿童每晚的睡眠时间平均为10.5小时，并且白天会小睡1.5小时。在阿根廷，儿童一般到了四五岁时白天不再小睡。正如文化会影响个体的睡眠及小睡行为一样，例如，拉美文化中的成年人都会继续保持白天小睡的习惯。

青少年时期睡眠方面最重要的变化是什么？研究发现，变化主要包括以下几方面：（1）非快速眼动（第三和第四阶段）睡眠和快速眼动睡眠的持续时间和深度会减少；（2）快速眼动睡眠更接近成人的模式；（3）白天睡眠的时间会增加；（4）作息时间更趋向于猫头鹰，即晚睡晚起（图7.2）。从婴儿期到青少年，唤醒阈限也会降低（Fukuda & Ishihara，2001；Quine，2001；Paavonen，Fjalberg，Steenari，&Aronen，2002；Sadeh，Gruber，& Raviv，2002）。随着青少年的逐渐成熟，他们从开始入睡到第一次快速眼动的间隔会缩短（快速眼动潜伏期缩短），并且快速眼动的强度（快速眼动时眼睛跳动的频率）也会降低。

青少年通常睡眠时间较少（至少在学校时如此）。但是我们有足够的理由相信这种睡眠时间的减少与生理无关。有人研究了自然环境下青少年的睡眠。这种条件下，青少年的睡眠比实验室环境下少，我们会看到他们白天的嗜睡水平显著提高。很多情况下高中学生的嗜睡水平与患有嗜睡症、睡眠呼吸暂停症等睡眠障碍者接近。多变的教育实践和不规则的作息方式会造成睡眠时间的缩短及注意能力的降低（Billon-Descrpentries，1997）。因此，父母教育方式不当会使得学生昼夜作息时间紊乱，睡眠不足慢慢也会造成儿童学业成绩下降。

学校的作息时间也会影响青少年的睡眠模式。例如，我们经常看到，学校的上课时间变得越来越早，学生就要起得越来越早（Carskadon et al.，2004）。具有讽刺意味的是，随着学生年级的升高，学校开始上课的时间也会变得越来越早。虽然学校开始上课时间变得越来越早，但是学生无法相应调整他们的就寝时间，这就造成了对学生的睡眠剥夺（Dexter，Bijwadia，Schilling，& Applebaugh，2003；Sadeh et al.，2003）。从而使学生早上昏昏欲睡，而到下午

快放学的时候他们却变得更为清醒（Andrade，Benedito-Silva，& Menna-Barreto，1992；Andrade，Benedito-Silva，Domenice，Arnhold，& Menna-barreto，1993）。个体生理节律的变化也会影响学业成绩，它主要是通过学生白天的偏好时间与上课时间的不同步性而产生影响的。根据这种同步性效应，青年人和老年人在一天中的最佳时间完成一些认知任务时，他们完成的效果比其他时间要好（而这两组的最佳时间是不同的）。当机体处于最佳偏好时间时，青年和老年人都更不容易受外界干扰，他们对新学习信息的再认效果更好，他们对强烈而不适宜反应的控制能力也更好（Heuer，Spijkers，Kiesswetter，& Schmidtke，1998；Roberts & Kyllonen，1999；Alapin et al.，2000；Eliasson，Eliasson，King，Gould，& Eliasson，2002）。另外，对青年和老年人的研究表明，在最佳时间和其他时间，被试记忆成绩也存在差异，这一研究成果与课堂学习也非常相关。 122

既然随着年龄增长儿童的偏爱时间不断向夜晚接近，那么他们的认知功能达到峰值的时间也不断向夜晚推迟。所以像语文、数学这些重要的基础课程如果在早上开始，那么年龄比较大的儿童学习效果就比较差，因为此时不是他们偏爱的时间或最佳时间，而在生理节律与课程安排时间同步性较好的情况下，学生的学习效果就比较好（Roberts，Roberts，& Chen，2002）。最近有项研究比较有趣，Drake 等研究了初中学生的睡眠习惯和学业成绩的关系，研究发现，相对于学校相关测验得分较高的学生，那些报告学业成绩低、旷课次数多、对学校偏爱程度低、睡眠时间少和经常生病的学生白天的嗜睡水平也更高（Drake et al.，2003）。Giannotti 等人研究了生理节律偏好、睡眠模式的调节、睡眠障碍、日间嗜睡以及白天行为之间的关系（Giannotti，Cortesi，Sebastiani，& Ottaviano，2002）。“夜猫子”型的人晚睡晚起，尤其是周末。平时他们的睡眠比较少，而在周末他们会有更长的睡眠时间，他们的作息时间很不规律，自我感觉睡眠也比较差。另外，“夜猫子”型的学生与其他学生相比，上课时打盹的次数更多，抱怨日间嗜睡，存在更多的注意问题，学业成绩更差，更容易受伤，情绪上也更烦躁（Giannotti et al.，2002）。

除了睡眠不足，另一个独立但又相关的因素就是疲劳。疲劳可以定义为劳累的感觉，这时人不能启动某些行为，尤其是那些有长期目标或产生负面结果的行为。对于青少年，即使他们处于清醒状态，疲劳和劳累的症状在他们身上也非常明显，这些症状可能会对他们造成长期的不良后果。另外，兼职也会对青少年的睡眠模式产生很大影响，对于那些睡得比较晚的、每周工作在 20 小时以上的人来说，他们更容易嗜睡，他们喝的咖啡和酒也更多（Dexter et al.， 123

2003；Shin et al.，2003）。

睡眠剥夺效应的另外一个研究领域与情绪相关（Carskadon et al.，2004）。睡眠剥夺可能会同时损害个体完成认知和情绪任务的能力。虽然这看似一种非常微妙的效应，但是社会能力基础（它是青少年努力发展的主要方面）要求他们能较流畅地完成这些任务。尤其对于现在的青年人，在调节情绪应对社会环境的同时还要集中于一个长期目标的能力是他们每天都在努力获得的。如果睡眠剥夺会造成这方面的损伤，那么后果将非常严重。

结论

意识被英国哲学家洛克（John Locke）定义为“对自身思想活动的觉知”。意识依赖于清醒水平，因此，人的意识也是周期性波动的。在生理节律不断循环的过程中，人们完成某些任务的最佳时间可能会发生变化，这主要取决于知觉的参与、记忆的使用以及逻辑推理的运用。那些涉及手的灵巧度、简单辨别及反应时间的任务，其完成效果与人体温度的周期循环密切相关。在下午，当人体温度达到最高时，这些任务的完成效果也最好。言语推理能力在生理节律变化的早期达到峰值，与其他能力相比，当时差变化或工作换班而导致紊乱时，这种能力更容易快速适应。此外，要求被试在一天当中有规律地报告其唤醒度、疲劳感、快乐度以及其他情绪感觉时，也会呈现出一致的周期性变化模式。

人类活动的很多方面在晚上达到最低水平，这不仅反应了生理节律的影响，同时也反映了对睡眠的需要。剥夺睡眠即使一个晚上，对人类心理和生理功能的损害也是比较大的。生物钟也会使人类很多活动在晚上达到低谷。所以，睡眠剥夺和生理节律的共同影响大大减少了夜间活动。在现代“24小时社会”中，教育系统在严重失当的作息安排下还越来越要求学生保持清醒，而学生却无法维持白天恒定的唤醒水平；这种情况下，这些因素对任何教育系统都有重要的启示。

伴随着儿童青春期的延迟，学校开始上课的时间却变得越来越早，这严重影响了青少年的睡眠质量、作息时间以及白天的行为。睡眠周期提前、深夜的各种活动或工作以及一大早还需要去学校上课等综合原因，使得青少年的睡眠时间严重压缩。有研究考察了在社区和学校中青少年常见的睡眠障碍问题，研究表明，青少年群体中失眠和嗜睡现象非常普遍。的确，从非临床数据来看，大概有20%—30%的儿童和青少年有睡眠困难，我们认为这已经比较严重了。

参考文献

Alapin, I. , Fichten, C. S. , Libman, E. , Creti, L. , Bailes, S. , and Wright, J. (2000). How is good and poor sleep in older adults and college students related to daytime sleepiness, fatigue, and ability to concentrate? *J. Psychosom. Res.* , 49, 381-390.

Andrade, M. M. , Benedito-Silva, A. A. , Domenice, S. , Armhold, I. J. , and Menna-Barreto, L. (1993). Sleep characteristics of adolescents: a longitudinal study. *J Adolesc. Heath*, 14, 401-406.

Andrade, M. M. , Benedito-Silva, A. A. , and Menna-Barreto, L. (1992). Correlations between morningness-eveningness character, sleep habits and temperature rhythm in adolescents. *Braz. J. Med. Biol. Res.* ,25, 835-839.

Asayama, K. , Yamadera, H. , Ito, T. , Suzuki, H. , Kudo, Y. , and Endo, S. (2003). Double blind study of melatonin effects on the sleep-wake rhythm, cognitive and non-cognitive functions in Alzheimer type dementia. *J. Nippon Med. Sch*, 70, 334-341.

Billon-Descarpentries, J. (1997). [Influence of parental educational practices on the sleep and attentional performances in children] . *Arch. Pediatr.* 4, 181-185.

Cardinali, D. P. (1998). The human body circadian: How the biologic clock influences sleep and emotion. *Ciencia e Cultura*, 50, 172-177.

Cardinali, D. P. , Brusco, L. I. , Liberczuk, C. , and Furio, A. M. (2002). The use of melatonin in Alzheimer's disease. *Neuroendocrinol. Lett.* , 23 Suppl 1, 20-23.

Cardinali, D. P. , Jorda Catala, J. , and Sanchez Barcelo, E. J. (1994). *Introducción a la Cronobiología. Fisiología de los Ritmos Biológicos.* [Introduction to Chronoeducation, Physiology of Circadian Rhythms]. Caja Cantabria, Santander: Editorial Universidad de Cantabria.

Carskadon, M. A. , Acebo, C. , and Jenni, O. G. (2004). Regulation of adolescent sleep: implications for behavior. *Ann. N. Y. Acad. Sci*, 1021, 276-291.

Dexter, D. , Bijwadia, J. , Schilling, D. , and Applebaugh, G. (2003). Sleep, sleep-iness and school start times: a preliminary study. *WMJ*, 102, 44-46.

Drake, C. , Nickel, C. , Burduvali, E. , Roth, T. , Jefferson, C. , and Pietro, B. (2003). The pediatric daytime sleepiness scale (PDSS): sleep habits and school outcomes in middle-school children. *Sleep*, 26, 455-458.

Eliasson, A. , Eliasson, A. , King, J. , Gould, B. , and Eliasson, A. (2002). Association of sleep and academic performance. *Sleep Breath*, 6, 45-48.

Fukuda, K. and Ishihara, K. (2001). Age-related changes of sleeping pattern during adolescence. *Psychiatry Clin. Neurosci.* , 55, 231-232.

Gais, S. , Plihal, W. , Wagner, U. , and Born, J. (2000). Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills. *Nat. neurosci*, 3, 1335-1339.

Giannotti, F. , Cortesi, F. , Sebastiani, T. , and Ottaviano, S. (2002). Circadian preference, sleep and daytime behaviour in adolescence. *J. sleep Res.* , 11, 191-199.

Hastings, M. , Reddy, A. B. , and Maywood, E. S. (2003). A clockwork web: circadian timing in brain and periphery, in health and disease. *Nat Rev Neurosci*, 4, 649-661.

Heuer, H. , Spijkers, W. , Kiesswetter, E. , and Schmidtke, V. (1998). Effects of sleep loss, time of day, and extended mental work on implicit and explicit learning of sequences. *J. Exp. Psychol. Appl.* , 4, 139-162.

Hobson, J. A. and Pace-Schott, E. F. (2002). The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nat. Rev Neurosci*, 3, 679-693.

Mazzoni, G. , Gori, S. , Formicola, G. , Gnefi, C. , Massetani, R. , Murri, L. et al. (1999). Word recall correlates with sleep cycles in elderly subjects. *J. Sleep Res.* , 8, 185-188.

Murphy, P. J. and Campbell, S. S. (1996). Physiology of the circadian system in animals and humans. *J. Clin Neurophysiol*, 13, 2-16.

Paavonen, E. J. , Fjallberg, M. , Steenari, M. R. , and Aronen, E. T. (2002). Actigraph placement and sleep estimation in children. *Sleep*, 25, 235-237.

Pace-Schott, E. F. and Hobson, J. A. (2002). The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks. *Nat. Rev Neurosci*, 3, 591-605.

Peigneux, P. , Laureys, S. , Delbeuck, X. , and Maquet, P. (2001). Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems. *Neuroreport*, 12, A111. A124.

Quine, L. (2001). Sleep problems in primary school children: comparison between mainstream and special school children. *Child Care Health Dev.* , 27, 201-221.

Roberts, R. D. and Kyllonen, P. C. (1999). Morningness-eveningness and intel-ligence: early to bed, early to rise will likely make you anything but wise! *Pers. Individ. Dif.* , 27, 1123-1133.

Roberts, R. E. , Roberts, C. R. , and Chen, I. G. (2002). Impact of insomnia on future functioning of adolescents. *J. Psychosom. Res.* , 53, 561-569.

Rusak, B. and Zucker, I. (1979). Neural regulation of circadian rhythms. *Physiol Rev*, 59, 449-526.

Sadeh, A. , Gruber, R. , and Raviv, A. (2002). Sleep, neurobehavioral functioning and behavior problems in school-age children. *Child Dev.* , 73, 405-417.

(2003). The effects of sleep restriction and extension on school-age children: what a difierence an hour makes. *Child Dev.* , 74, 444-455.

Shin, C. , Kim, J. , Lee, S. , Ahn, Y. , and Joo, S. (2003). Sleep habits, excessive daytime sleepiness and school performance in high school students. *Psychiatry Clin. Neurosci.* , 57, 451-453.

Skene, D. J. (2003). Optimization of light and melatonin to phase-shift human circadian rhythms. *J. Neuroendocrinol.* , 15, 438-441.

第八章

认知和脑发育的动态周期：测量心理、脑和教育的发展

Kurt W. Fischer

概述

自从皮亚杰对教育学和生物学之间的关系作了开创性研究，研究者就开始了解人类发展所展示的基本认知神经加工过程。特别是，最新的动态生长模型阐明了脑发育、认知发展和学习所发生的复杂而又相互联系的变化。我们不仅应该将认知神经的发展看作一个具有很多连续阶段的阶梯，还应该将其看作一个复杂的网络。这个网络相互作用、相互吸引；发展的轨迹或聚或散，层层循环；有时稳定，有时不稳定，迂回曲折地向前；有时中断，有时又表现得很稳定。而且，皮层发展的周期和认知表现的周期似乎也是相关的。特别是当认知系统发挥最佳功能时，比如一个好老师或一本好书对学生的学习有帮助时，这种相关表现得最为明显。最佳认知发展中的一系列间断界定出一个10个阶段的发展量表，这一发展量表具有许多教育意义。更笼统地说，认知和脑的系统性生长周期对教育都有很多启发，但这些启发有时并不是直截了当的。教师参与认知神经科学方面的研究，同时神经科学家迎接学校教育中的重大理论和实践挑战，这些对教育的未来都非常重要。

——编者

大多数科学家和教师都发现一个很明显的事实：认知发展和脑发育是同步

的，将心理、脑和教育整合在一起的动力正是来源于这一假设，这一点在本书多数章节中都已明确提出。对脑发育的认识正经历着突飞猛进的发展（Coch, Fischer, & Dawson, 出版中; Dawson & Fischer, 1994），对认知发展和学习的认识也在朝着纵深方向发展（如，Case, 1998; Fischer & Bidlell, 1998; Fischer & Bidell, 2006; Piaget, 1983; Siegler, 1997）。但我们对认知和脑发育之间的关系仍然知之甚少。脑的许多特征，如神经元和突触的数量、脑的重量、髓鞘生成、脑活动等，都随着儿童的成长系统地发生变化。同时，儿童的动作、语言、概念、问题解决、社会技能、动机和情绪也会随之而发展。在整个大脑范围内，这些多种多样的变化都是密切相关的，但是这种相关给我们提供的信息并不十分充足，因为所有的变化都是平行的。那些希望了解脑—行为关系的科学家以及想用认知神经科学来促进教育的教育者，都需要超越固有的观念，即某一特征随年龄上升或下降，进而发现和分析脑和行为变化之间有意义的连接方式。尽管科学知识是有限的，但是公众对脑科学和教育实践相结合的期盼已大大超过了现有的科学知识（Bruer, Fischer, Immordino-Yang, & Waber, 那一章, 2006）。

但是，目前已经出现了一些能将脑和心理发展结合起来的有意义的方法。在这个前景大好的舞台上，动态系统分析这一新工具已将认知和脑发育的周期联系起来，这为克服分析心理—脑之间联系的困难奠定了基础。动态系统理论可以分析个体的复杂变化，相比之下，传统的工具仅仅关注对群体平均变化的分析，这掩盖了个体变化中饶有趣味的复杂性（Van Geert & Steenbeck 那一章）。研究发现，个体以复杂的形式生长，表现出的不是线性变化，而是上升和下降的循环周期（Dawson, Tunik, Comments, Wilson, & Fischer, 2005; Fischer & Bidell, 2006; Molenaar, 2004）。这种间断性和复杂性的形式为分析脑和行为的发展提供了有价值的工具，因为科学家能检测出这些形式之间的关系。关于脑发育、认知发展和学习的周期性循环的证据不断增长。且这三种循环似乎都涉及了一个普遍的生长模式，其中一点是，发现发展和学习中的普遍规则将对教学评估和教学实践都十分有用。

生长周期与脑和行为规则

所有有机体的生长都呈周期性。在神经元的周期性生长与迁移过程中，共生长出 6 层脑皮层（Rakic, 1971, 1988），因此，一个生长过程产生 6 个层次，虽然这 6 个层次是同一过程中产生的，但不同层次的细胞具有完全不同的

功能。随着胚胎的脑室区（ventricular zone）生长出大量的新细胞，脑皮层的生长也就开始了，胶质细胞将神经细胞迁移到目的地。第一批细胞迁移到皮层的第 1 层，但按自上而下的顺序却要被称为第 6 层。然后第二批、第三批细胞……开始迁移，直到形成 6 层皮层，皮层的每一层都具有不同的特征与功能。在皮层柱（cortical column）内，6 个层面之间相互联系，低层次，即 5、6 层，执行感觉运动的输入与输出等基本功能；高层次，即 1、2 层，联系、整合或者区别低级皮层传入的信号。

129

目前脑活动的发展模式以及认知发展的研究表明，脑与认知的发展都呈现出这种发展的周期性。周期模式最简单的指标之一是，发展是不连续的，如快速发展或者发展速度下降，比如 2 岁时语言的快速发展（Reznick & Goldfield，1992）。同时 Ruhland 和 van Geert（1998）等在研究荷兰儿童的自然语言产生后发现，大多数儿童在 24 个月左右表现出特定词汇类别的飞速发展，如 Tomas 发现了人称代词使用能力的快速发展，如图 8.1 所示。

从婴儿到 20 多岁，人在生长周期中，要经历一系列认知与行为的快速发展阶段，24 个月时的飞速发展只是其中的一个部分（Fischer & Bidell，2006），如图 8.2 所示。婴儿、儿童、青少年和青年人都会经历技能快速发展的阶段，理想的支持条件更能促进技能的发展（图 8.2 上一条线）。而没有达到能力极限的普通发展则呈线性或者不系统的变化（图 8.2 下一条线）。该图表明了青少年与青年期高级抽象技能的发展轨迹（Fischer，Yan，& Stewart，2003）。

130

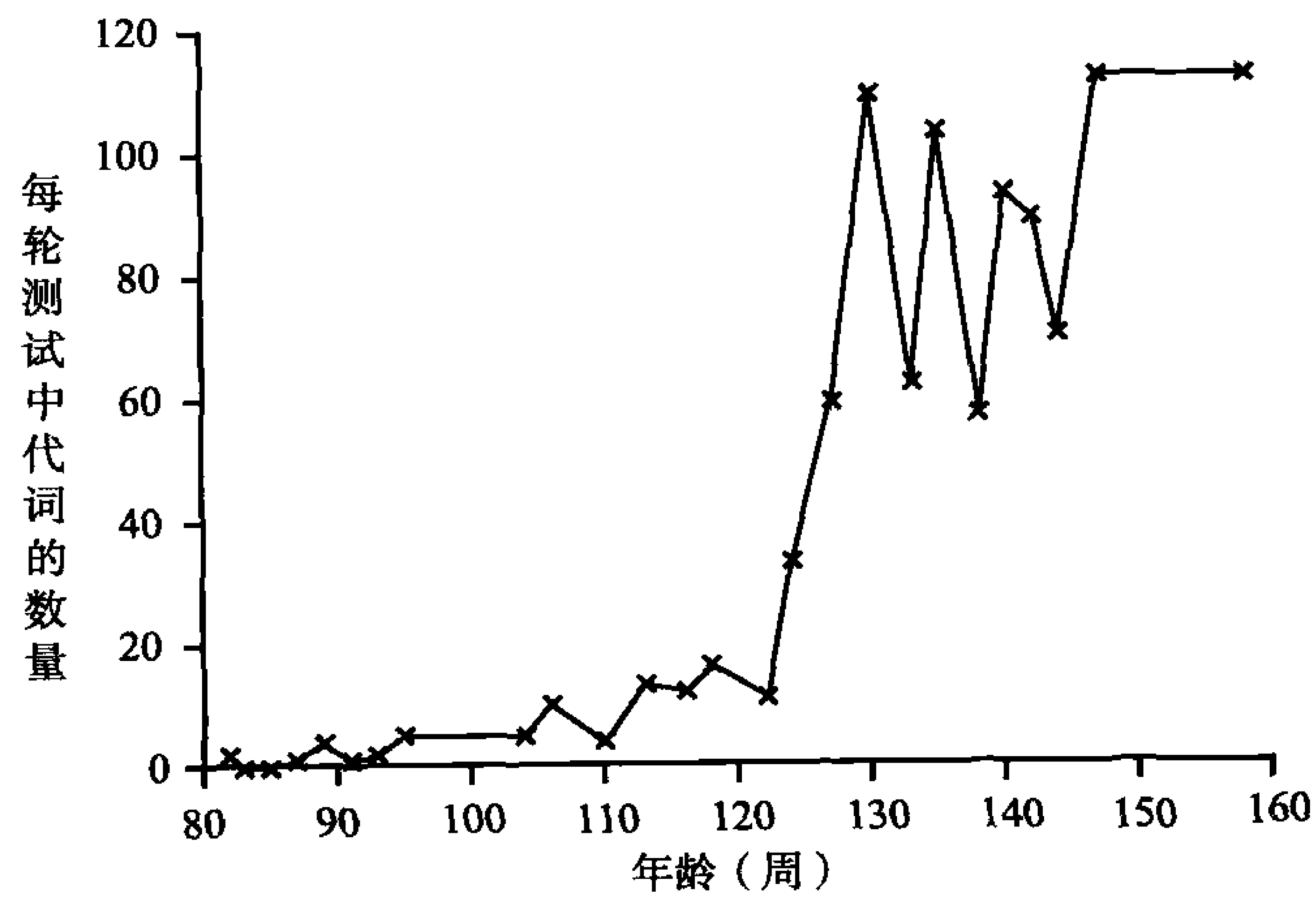


图 8.1　荷兰男孩 Tomas 运用人称代词能力的飞速发展

数据来源：Ruhland & van Geert，1998

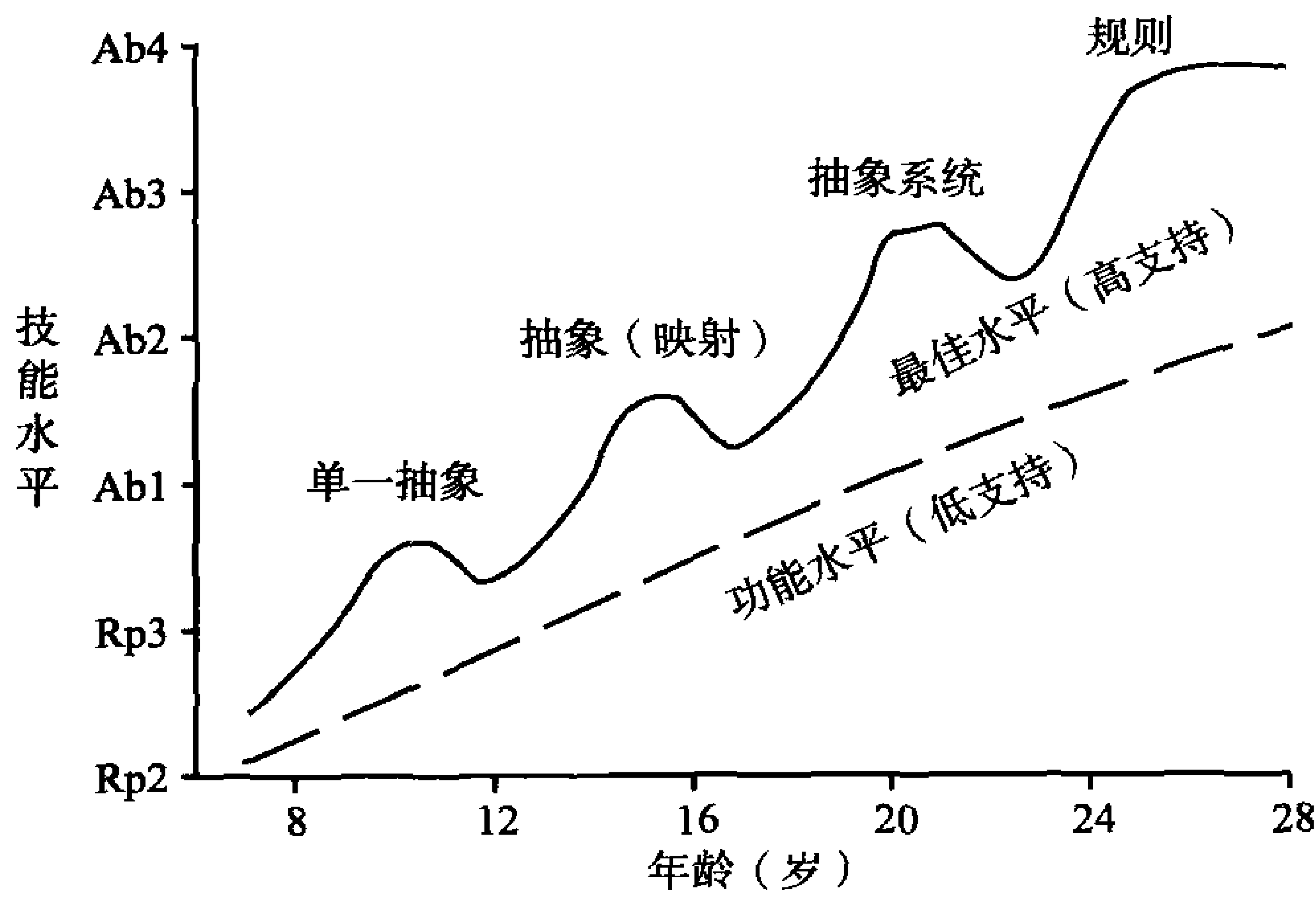


图 8.2　最佳条件下认知发展的周期性突增

这些复杂的发展轨迹与动态系统理论结合，形成了一个有用的工具，可以用它来对脑发育和教育进行研究，它们虽是不同的领域，但用的却是同一套量表。根据这一共同的量表，不同领域的技能发展呈现出非延续性的特征（Dawson-Tunik et al.，2005；Fischer & Bidell，2006）。在认知与学习发展方面，这些结果尤其显著。研究已经表明，用不同内容、不同方法可以测量出变化的模式，可以显示出技能的复杂性这个共同的维度。无论哪个领域的认知发展都沿着这个维度发展，就像不管温度的测量对象是生病的孩子、冰河、开水、火山或者太阳的表面，温度测量都遵循同一个维度一样。复杂性这个维度为教育测量提供了一个有用的规则，适用于不同的领域，适用于学习者和教师，适用于测验与课程（Bidell & Fischer，1992；Dawson-Tunik & Stein，出版中），甚至可以用来追踪具体任务的学习过程，人们一般将它称为微发展（microdevelopment）（Granott，Fischer，& Parziale，2002）。

131

理解这一维度的生长模式必须消除有关发展的错误观念。大多数人不自觉地认为发展包括从一个阶段到另一个阶段的阶梯状进程，但是孩子和成人一样，不是阶梯状的发展，而是许多线交织而成的网络状的发展。不同领域间共同的复杂性并不表明发展是阶梯状的。图 8.3 显示的是青少年和青年人在数学、关系中的自我以及反省判断三个领域中的发展网络（Fischer et al.，2003）。个体建构每一个领域中不同的技能，每一个领域又包括几种不同的类别，所有的类别都同样沿着复杂性这一维度发展，但是不同类别的技能又是相互独立的。有时，不同类别会分化为新的不同类别，有时它们又会综合起来形成一种新的类别。为了某些目的，可以把不同领域的技能如反省判断、自我概

念等当作是独立的，但是随着发展进程，人们常常将不同领域不同类型的技能综合起来，如学生常常将他们怎么知道事物的真实性这一概念（知识的基础——反省判断）与自我概念联系起来。不管是什么情形，每一类技能的发展都具有相同的维度，即复杂性，即使这些类别包括了不同的技能。测量复杂性需遵循相同的规则，但是这些共同的规则并不表明所有的技能都是相同的，就像温度相同、热量相同的人体体温与夏天气温实则并不相同。

132

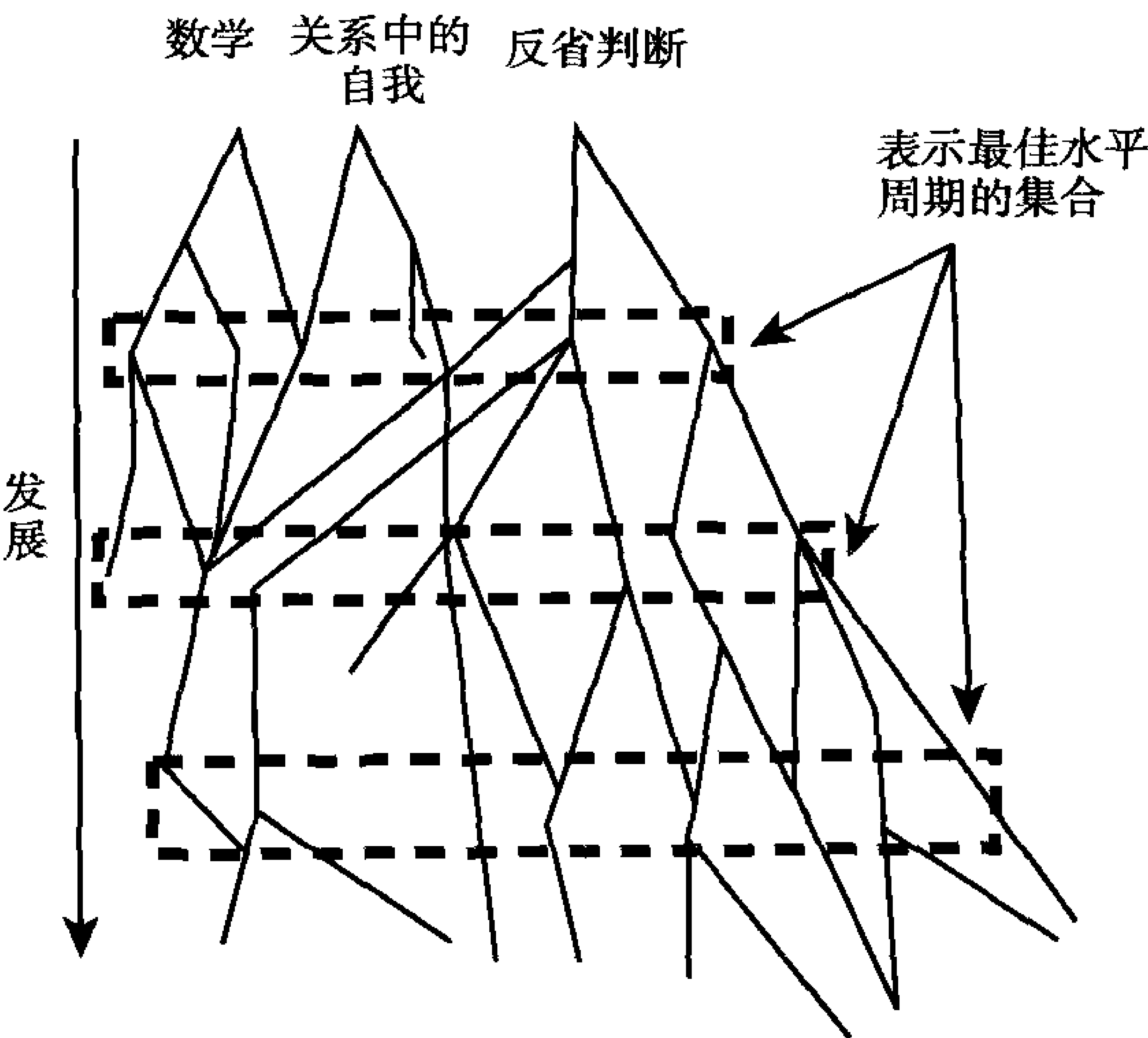


图 8.3　由三种技能水平中许多类别的间断集合所组成的发展网络

技能建构的发展周期在网中就像是一些不连续的角、连线、线段的集合，图中的方块表明三个新的最佳水平的出现，这些集合抓住了最佳水平的变化，而普通的非最佳水平的技能则出现在不同类别的低端。也就是说，相同的人在相同的领域或者类别中表现出不同的发展水平，这取决于个体是处于最佳水平还是功能性水平（参见图 8.2）。人的行为并不总是处于一个水平，甚至在像自我概念这样熟悉的领域也是如此。他们的技能在复杂性上每时每刻的变化，取决于环境的支持、动机、疲劳以及其他因素。

认知发展的周期

从 4 个月到青年阶段，认知发展经过了 10 个阶段。表 8.1 总结了从儿童期到成年期与教育密切相关的这些阶段。行为的快速发展与下降以及在特定年龄阶段出现最佳水平是最具说服力的证据。对算术、自我概念、反省判断、道

德推理、分类、守恒以及其他许多任务的研究均表明，这些快速发展与下降标志着各水平技能开始形成。

133

表 8.1 学龄期的发展水平：最佳水平与功能水平

水 平	最佳水平	功能水平
Rp1 单一表征	2 岁	2—5 岁
Rp2 表征映射	4 岁	4—8 岁
Rp3 表征系统	6 岁	7—12 岁
Ab1 单一抽象	10 岁	13—20 岁
Ab2 抽象映射	15 岁	17—30 岁
Ab3 抽象系统	20 岁	23—40 岁，或很多领域永远不行
Ab4 单一规则	25 岁	30—45 岁，或很多领域永远不行

* 根据 Dawson，Fischer，Kitchener，King，Kohlberg，Rest，以及其他人的研究，功能水平的年龄变化很大，并且是粗略的估计。发展水平和教育高度相关（Dawson）。

在算术运算概念的研究中发现，青少年在最佳条件下的快速发展有 3 个层次：单一抽象（single abstractions）、抽象映射（abstract mappings）以及抽象系统（abstract systems）（Fischer，Kenny，& Pipp，1990）。研究对象是美国中西部城市不同学校和大学中 9—20 岁的学生，实验要求他们演算 7+7+7=21，3×7=21，5+9=14，以及 14-9=5 等算式，然后要求他们解释加、减、乘、除运算及加与乘或者加与减等两两运算之间的关系。什么是乘法，怎样的运算问题要用乘法？乘法与加法之间是怎样的关系，运算问题是如何包含这种关系的？学生先在低支持条件下运算，然后用自己的话给出解释。接着向学生提供回答该问题的良好范例（高支持）。实验结束时，告诉他们要在两周后返回再做题目，因此他们应该在这两周内继续思考这些问题。他们回来后，再做这些题目，仍要先回答低支持条件下的问题，然后再回答高支持条件下的问题。

研究表明，在特定的年龄阶段，最佳条件下的学生成绩显著提高，图 8.4 表明了算术和运算之间的映射关系。在第一次实验两周后的第二轮实验中，在学生不仅有高支持而且有时间练习与思考这些问题的条件下，学生技能的快速增长速度尤为明显。实验要求学生解释加和减、加和乘、乘和除、减和除之间的关系（每道题两种形式，因此共 8 个任务）。在只向他们提问而没有支持或者练习的条件下（第一轮没有支持的实验），成绩很低。在 16 岁之前接近零，在 20 岁左右也仅有 32% 的正确率。但是若给予支持（第一轮有支持的实验），在 15—17 岁之间，他们的成绩就会有显著提高。若有两周的思考问

134

题的机会，则会引起更快的增长，从 15 岁的 6% 增加到 16 岁的 88%（第二轮有支持的实验）。该研究在没有先前证据的情况下第一次验证了动态技能理论所提出的快速增长预期，图 8.4 表明该研究的结果很有说服力而且非常明确。

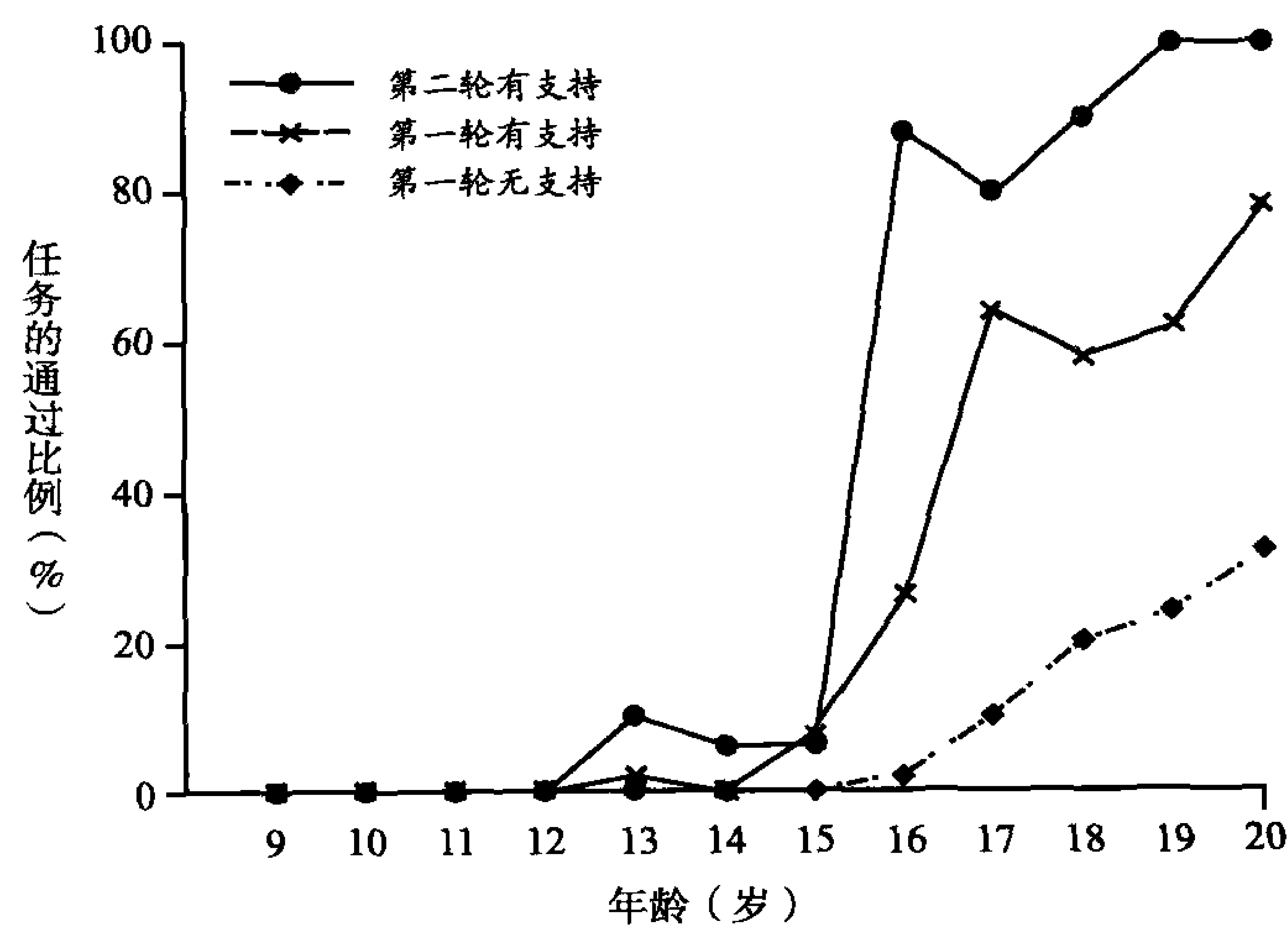


图 8.4　算术运算的映射突增

除了映射关系的快速发展，图 8.4 还表明了与教育密切相关的另外一种发展现象——后阶段的巩固（later-level consolidation）：如算术运算关系或者确定真实性的概念，这种新的技能可能出现在某个阶段，但却在几年后的另一阶段被巩固，进而产生了一致性行为，这时各种要素可以协调并相互联系起来。在算术研究中，这两条曲线表明，在 16 岁后的几年里有一次快速发展，然后在大约 20 岁的时候再一次产生更好的成绩。第二个快速发展期一般出现在认知发展中，并预示了下一个阶段的出现。在本例中是抽象系统（Ab3）。在新的阶段出现时，成绩也会出现飞跃，但是与最佳成绩相比，一般提高得要少。例如，在反省判断（对复杂的两难问题提供解释的知识基础）中，学生在某一水平第一次出现时，成绩（正确率）仅提高了 50%（Kitchener，Lynch，Fischer，& Wood，1993）。但在 5 年后第二个水平出现时，成绩却提高了 100%。

认知发展的一系列不连续性最终确定了 10 水平的发展量表：3 个水平的感觉运动加上表 8.1 的七个水平。另外，不同的方法体系都独立地证实了表 8.1 中这一七水平的量表。Theo Dawson（Dawson & Wilson，2004；Dawson-Tunik et al.，2005）开辟了这一研究领域，他通过访谈、标准化测验、论文和

其他书面材料等途径收集到了广泛的数据，然后使用罗殊分析（Rasch analysis）算出了项目的难度。通过这些数据的集合，罗殊量表也精确地计算出了这一七水平的量表，它可以图示出项目集合两两之间沿着复杂性维度的水平和间隔。这一集合甚至对成人也适用，因为年龄并不是影响项目顺序的一个因素。

表 8.1 所示的连续性阶段表明了一种生长周期：伴随着每一种新认知水平的出现，成绩的快速增长现象也会反复出现。与脑皮层通过神经元的产生与迁移而连续生长出皮层的生长周期类似，在一般生长过程的基础上长期形成的认知水平，在每一个水平上都生长出了本质上全新的技能结构。

在这些水平内，也会出现第二种生长周期——不断重复的要素协调类的模式，这种模式将这些水平聚合为所谓的“层”（tiers）。在编码器（coders）出现一般的混合性错误时，这种周期在研究中就表现得很明显。比如，一个 5 岁孩子间具体角色的简单关系与 15 岁孩子间更抽象的关系（Fischer & Elmendorf, 1986）。5 岁孩子在讲述有关母亲和孩子之间特定标准关系的故事时，将母亲与孩子的角色或者医生与病人的角色联系起来。15 岁的孩子则将母亲与孩子或者医生与病人更宽泛、更抽象的角色联系起来。例如，他们描述母亲与孩子在社会中的角色，而不仅仅局限于具体的、原型的母亲与孩子的交互作用。这种相同与不同的结合反映了反复出现的技能水平周期，即“层”。

一般而言，在从婴儿早期到成人的发展过程中，至少要经历三种反复出现的周期。在每一层（或者周期）中，孩子或者成人首先控制行为的一个单位——分别是单一动作，表征，或者感觉运动、表征和抽象层次的抽象（Fischer, 1980; Fischer & Bidell, 2006）。然后，他至少将两种这样的单位联系起来形成动作、表征或者抽象的映射。接着，他将两种映射关系组合起来形成一个系统。最后，在某一层的第四个水平上，他至少将两种系统整合起来形成一个包含有多种系统的系统，该系统产生一种新的单位：动作系统形成单独的表征；表征系统形成单独的抽象；抽象系统形成单独的规则。（迄今为止，没有证据表明有超越单独规则之上的新水平出现。）图 8.5 用方块来形象地说明表征与抽象层的周期，简单的表征方块最终能创造出一种新的更复杂的方块，以形成抽象思维的能力。我认为，这种周期性的增长在认知与脑的发展中是非常普遍的，通过假设脑发育与认知发展周期有相关，我将提出脑发育的几个周期。

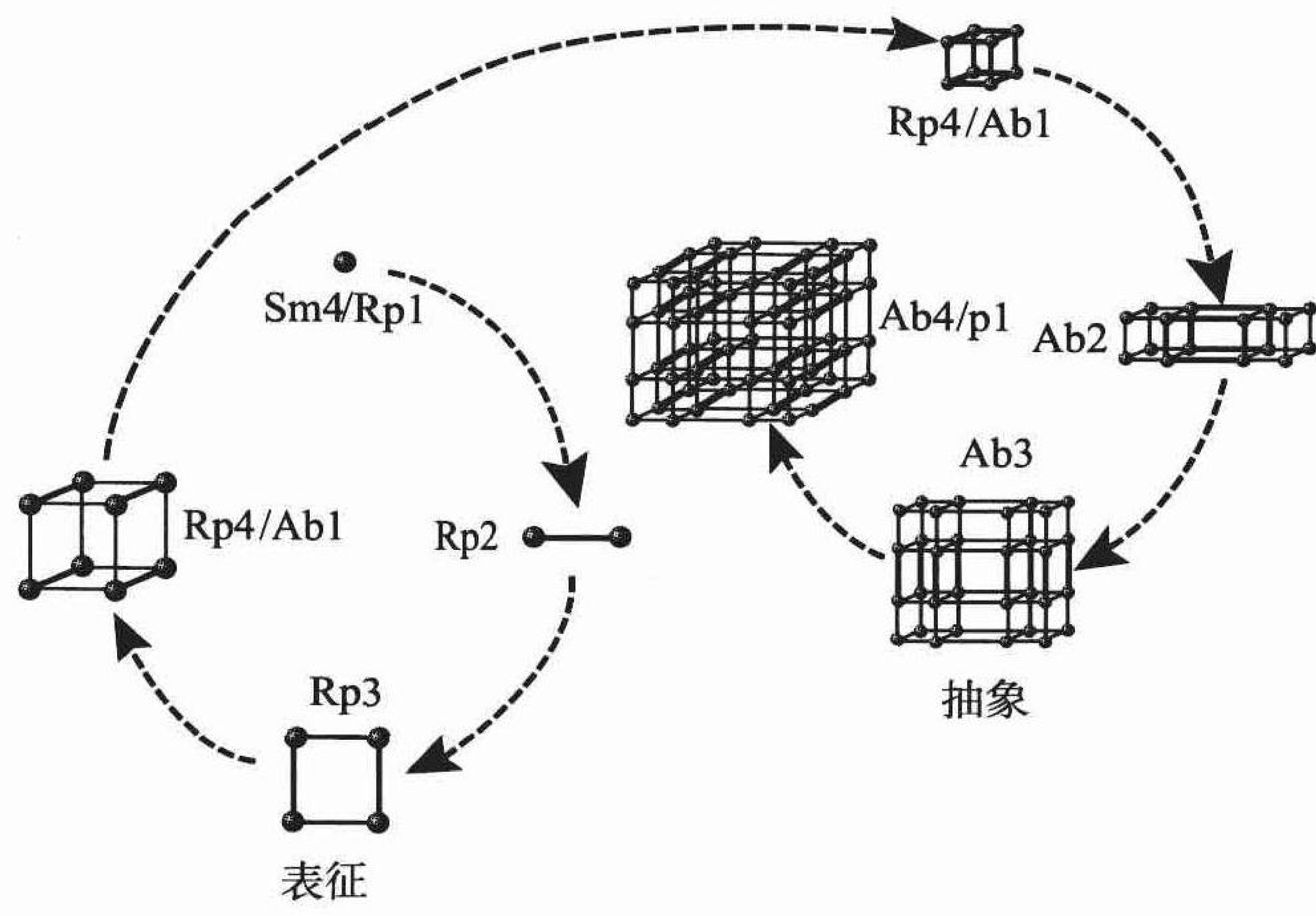


图 8.5　表征和抽象层的发展周期

脑皮层发育的周期

对脑结构与发展的研究主要集中在局部的、微观的结构与生理层面上，如单个神经元与突触的功能。在与教育的连接方面，脑运作的方式及脑随发展而变化的方式是高度相关的。虽然对脑系统的研究相对较少，但是研究发展得很快，已经有足够的研究成果来确立有关脑发展的一些主要事实，并能初步建立起一种脑的周期性生长模型（Fischer & Rose, 1994）。

在脑发育方面第一个已经确立的事实是（很多科学家和教育家对此仍一无所知），脑及其组成部分是以突进的形式来生长的，这与身体的其他部分一样（Blinkov & Glezer, 1968; Fischer & Rose, 1994; Lample, Veldhuis, & Johnson, 1992; Noonan, Farnum, Lerferman, Lample, Markel, &Wilsman, 2004; Thatcher, 1994）。儿童生长的光滑的曲线图只是许多孩子的平均值，个体儿童的生长是间断性的。

在对脑结构与活动的很多测量中，这种间断性都十分明显，如皮层的厚度、突触的密度、皮层的电活动、皮层的连接性。这种快速增长与下降模式的一个最简单的表示方法是脑电图（EEG）中显示的能量，该能量通过计算某一脑区所产生的电活动的曲线来测量。在一项经典的研究中，Matousek 和 Petersén（1973）测量了瑞典 1—21 岁人群的脑电，相对能量（某个皮层区某个频率段的能量除以那个区所有频率段的能量）显示了高度系统化的增长曲线，图 8.6 表明顶枕区测量到的 α 波段。生长的方向朝上，但是不断出现快速

发展（如图 8.6 中黑点所示）、高原期、轻微的下降，这与算术、反省判断以及其他认知技能的发展曲线类似（图 8.1、图 8.2、图 8.4）。[注意，有些频率段（特别是 θ 和 δ 波）的生长曲线不断下降，以一种断断续续的方式发展。生长曲线的形式因皮层区的不同而有所不同；例如，在青少年期，前额叶的发展就比枕部快（Hudspeth & Pribram，1992）。]

脑电能量快速发展的年龄与认知快速发展的年龄有着密切的关系，这在图 8.6 和表 8.1 的比较中非常明显。这种对应关系非常密切，表明这两种动态的发展过程存在着联系。该研究首次提出了简单形式的脑生长假设（brain growth hypothesis）：皮层的快速生长反映了新技能水平的出现。但这种密切的对应关系也表明，在脑或认知发展快速增长的研究中，多数只是测量了一个，或者脑，或者认知，而没有同时测量两者，因此，表明个体脑与认知发展是否的确相关的数据仍然很少。但是已有的少量研究确实测量了脑与认知的发展，并支持了脑生长假设（Bell & Fox，1994；Bell & Fox，1996；Stauder，1999；van der Molen & Molenaar，1994），但是还需要更多的研究来完整地验证两者之间的对应关系。

138

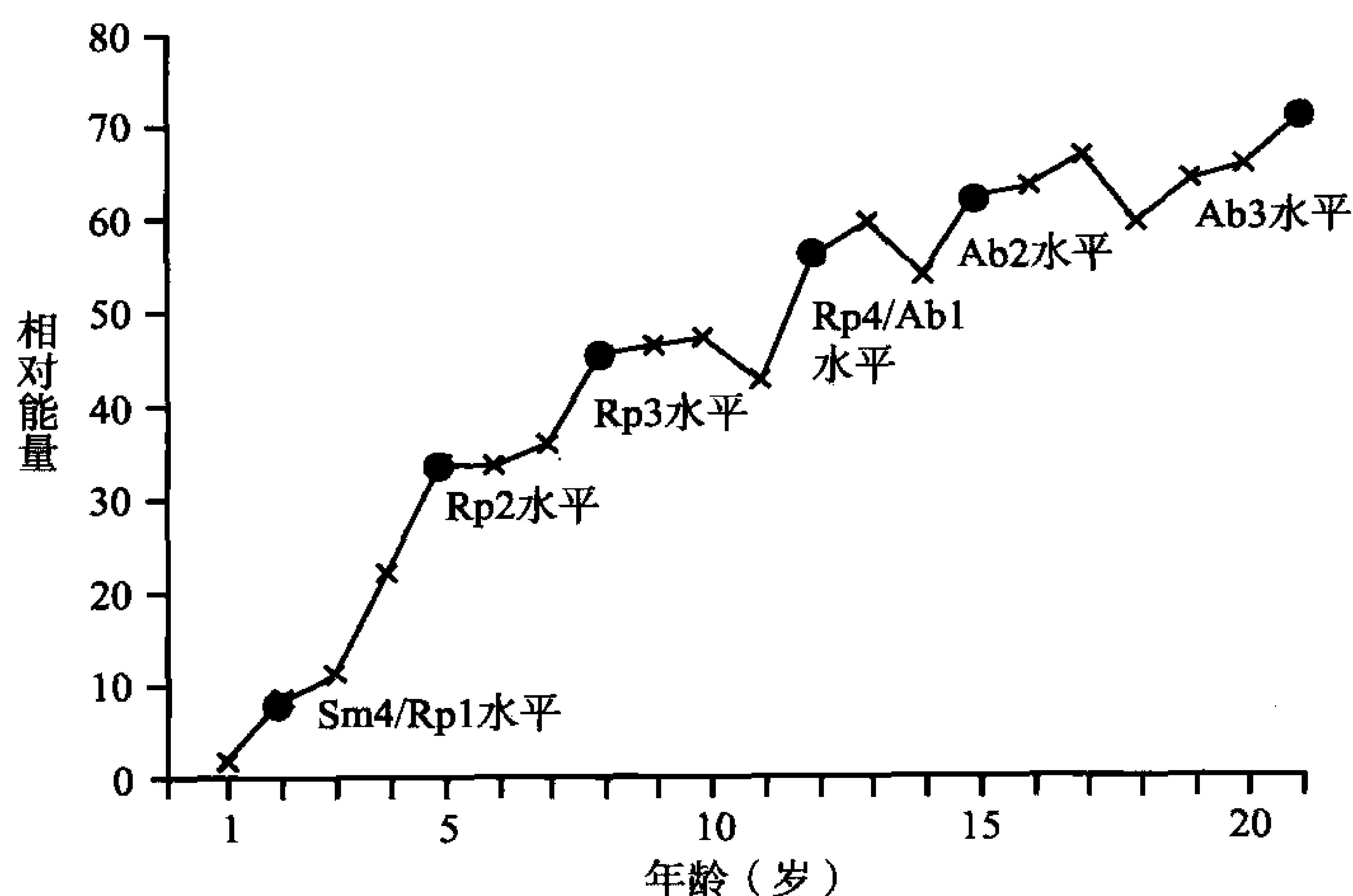


图 8.6　枕顶区脑电 α 波相对能量的发展

这些现象提出了一个简单的皮层活动与认知能力持续相关、快速发展的生长模型，但它们同时也提出了下列的问题：脑随每次快速增长而重组的性质以及在图 8.5 表示的生长周期中与认知重组的关系。我和同事们根据现有研究，尤其是 Thatcher（Hanlon，Thatcher，& Cline，1999，1992，1994），Matousek 和 Petersén（1973），Hudspeth 和 Pribram（1990，1992），以及 Somsen（Somsen，

van't Klooster, van der Molen, van Leeuwen, & Licht, 1997）的研究成果，提出了一个皮层网络生长的模型——网络生长假设（network-growth hypothesis），这些研究成果除了脑电能量，其他的测量则主要包括 EEG 的一致性、两个脑区电波模式的相关性。相关性的脑电模型表明两个脑区的联系非常活跃，而没有关系的脑电波模式则表明两者的联系不活跃。

对神经网络模型的解释需要用脑电图和其他脑成像技术来描述皮层区域的一般结构。图 8.7 是脑的俯视图，鼻子表示头的前部（即面部——译者注），灰色部分是前额叶，在皮层网络中具有十分重要的作用。图上列出了皮层区的标准名称：左右半球、每半球的前额叶（F）、中央沟（C）、颞叶（T）、顶叶（P）、和枕叶（O）。神经纤维（轴突）连接皮层的不同部分，如前额叶到枕叶之间的长距离连接（长箭头标注）、前额叶到颞叶之间的短距离连接（短箭头标注）、前额叶到前额叶之间的同一皮层区内部的连接（图中未显示）。这些连接在神经网络中都发挥着重要作用。有证据表明，大部分激活的网络连接都是在同一个半球，如箭头所示。

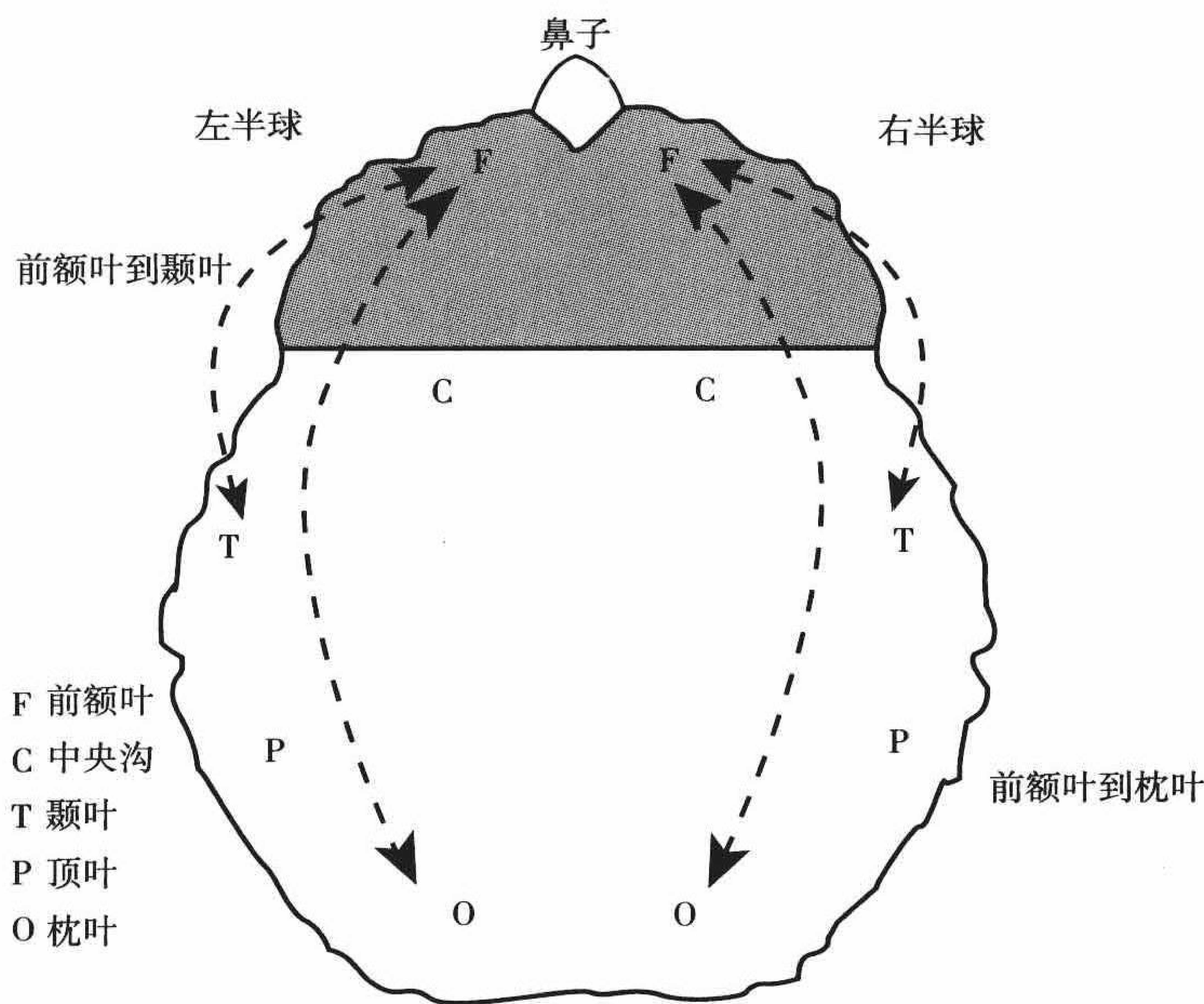


图 8.7　皮层网络连接的俯视图

根据网络生长假设，图 8.6 所表明的能量变化是脑中神经网络发展变化的结果，这些发展通过网络的重新连接与再调整的循环过程而产生。这种随皮层系统生长的过程与 Thatcher（Hanlon et al., 1999, 1994）提出的形式是一致

的，如图 8.8 所示，大约在 6 岁和 10 岁出现表征 3 和抽象 1 的认知水平。前额叶最先发展，因为实验证据表明，大多数伴随年龄而产生的系统变化包括了前额叶与其他脑区的连接。Thatcher 的实验数据表明，在某个特定的时期，生长以某个特定皮层区为主，但是毫无疑问，其他脑区也会有一定的生长，只是不太显著。图 8.8 代表了假设的标准模式，但是不同的人可能表现出不同模式的生长周期。例如，研究清楚地表明，男性与女性是不同的（Hanlon et al.，1999）。

140

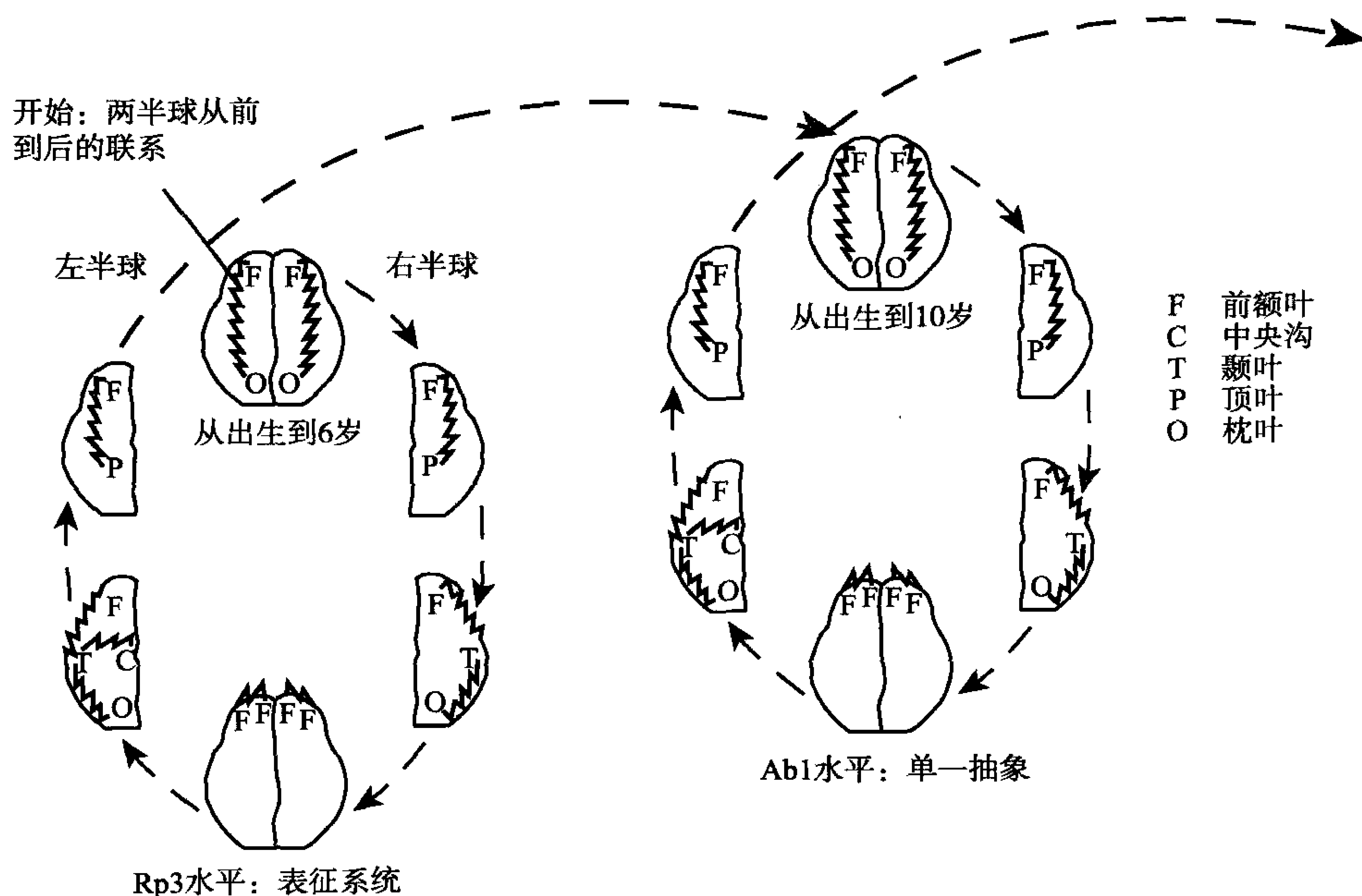


图 8.8　两个连续认知阶段的皮层网络周期

在图的顶端，随着表征系统 Rp3 水平的形成，前后（前额叶—枕叶）连接比其他连接更强。在几年间，这种连接沿着皮层逐渐发展，从右半球开始，越来越局部化，对短的连接进行调整。该周期走到一半时，在图的底部，局部连接的发展占据了主导地位，生长的优势转移到前额叶皮层。然后转移到左半球，开始更局部、更长的连接，直到形成最长的前额叶—枕叶连接。随着单一抽象 Ab1 开始发展，再重复这一过程。最终在周期性的重复中，重新建立单一抽象能力的网络，直到最终完成，又开始下一个水平——抽象映射 Ab2。

141　根据该假设，网络周期与出现特定类型的学习和发展变化具有对应关系，如主要技能的快速发展。Martha Ann Bell 在两个研究中确切地证明了这种关系——与婴儿主要技能的发展有关的特定皮层区，其快速发展与下降是一致的

(Bell, 1998; Bell & Fox, 1996)。研究发现，初学爬行的婴儿显示出额叶、枕叶、顶叶连接的高度一致性，尤其是在右半球。随着婴儿爬行技能的提高，一致性水平下降。同样，一例个案研究发现，婴儿在发出许多类似音节的声音时，显示出前额叶与颞叶的高度一致性，尤其是在左半球。多数大孩子与成人的左半球颞叶区都在语言中发挥了重要的作用。

当然，对于右半球是语言优势半球的少数人来说，这种一致性的生长模式应该是不同的。同样，一般而言，根据网络生长假设，能力与学习模式随着年龄增长而出现的个体差异应该与周期的差异相对应。比如，婴儿爬行晚，则前额叶—枕叶和前额叶—顶叶一致性的快速发展出现得也晚。抽象思维发展晚（Ab1 以上）或者学习阅读晚或者突然开始努力学习某项运动的孩子在特定的脑区应该也会出现类似的一致的生长变化。

对于认知的发展来说，产生认知阶段的周期，嵌套在更宽泛的层的周期之内（参见图 8.5）。同样，按照假设，图 8.8 所示的网络生长周期嵌入在能量、一致性以及其他与层有关的大脑特征的更大的生长周期中——嵌入式网络假设（the nested network hypothesis）。例如，由 Hudspeth 和 Pribram（1990，1992）对脑电能量的分析可知，在新层出现的时候，前额叶似乎非常活跃。根据迄今为止的研究证据，能量的快速发展沿着脑皮层系统地移动。另外，特定皮层连接的一致性模式的动态变化由于新皮层网络的周期性运动也产生相应的变化（Thatcher, 1994）。据推测，随发展高峰的转移，网络连接的非特异性变化以及其他脑部特征也相应地出现。

142

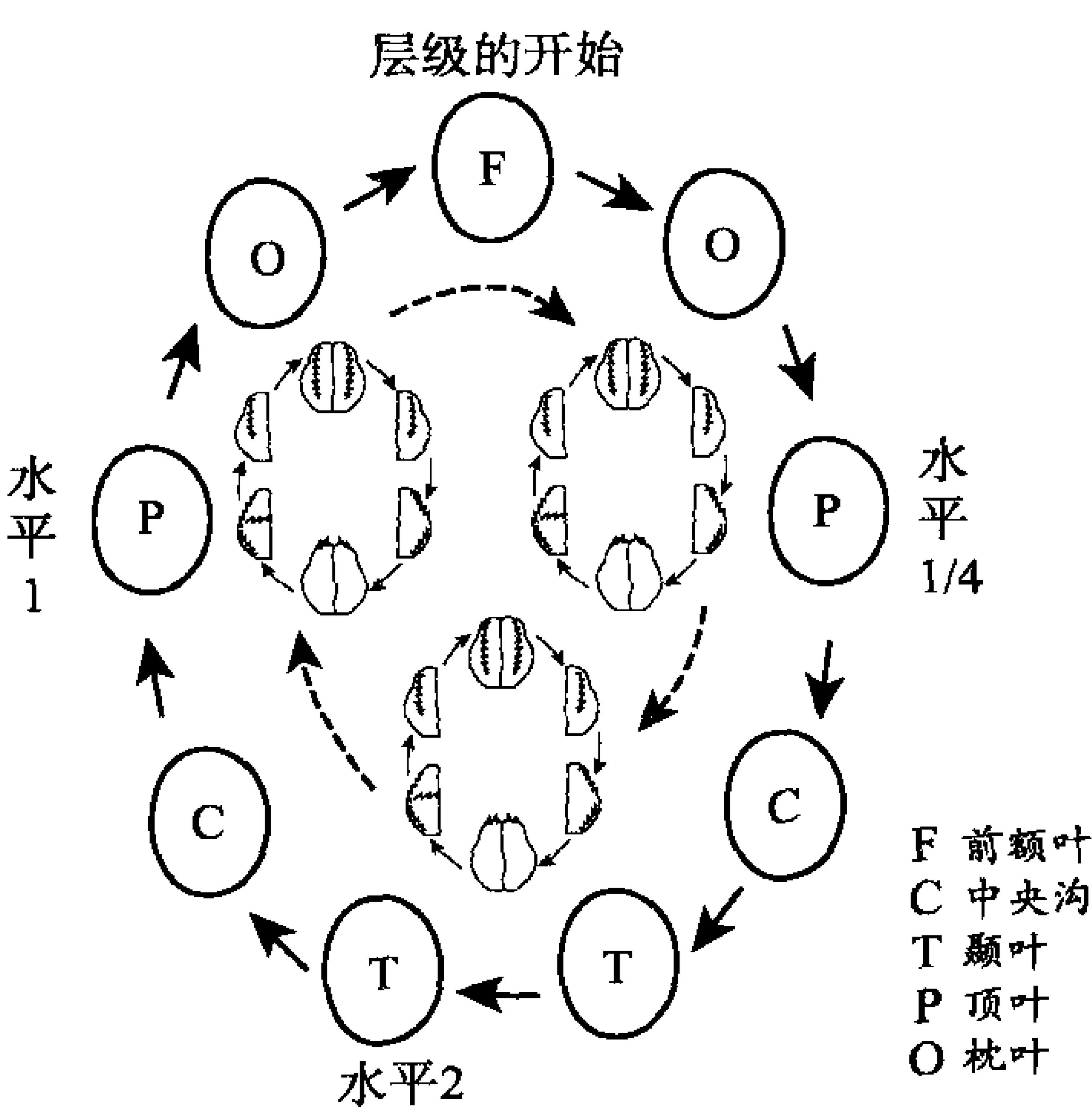


图 8.9 嵌入式网络周期中，层的高峰能量周期

根据嵌入式网络的假设，特定皮层区域的最高能量随着皮层网络周期在不同水平“层”（tier）中的变化而发生系统的变化，如图 8.9 所示，皮层网络周期嵌套于最高能量的周期中。最高能量从前额叶皮层开始，然后在较长的年龄段里，随着儿童生长出新的水平而沿着皮层逐渐运动。图 8.9 的模型和一些可用的研究成果很少一致：最高能量逐渐沿着前额叶到枕叶、顶叶、中央沟、颞叶，然后又回到中央沟、顶叶、枕叶和前额叶。合理的假设是第一批峰值（图 8.9 中的右侧）集中在右半球，后来的一批则集中在左半球。但是发表的大多数研究并没有对这种观点进行过验证。这种嵌入式的周期与图 8.8 中的网络发展周期一样，可能与特定的行为模式相对应，如集中在一些技能领域或者社会情绪问题上。

学习的周期：向后的发展与微发展

技能的水平以及与之相伴随的动态发展模式，为心理、脑与教育的研究创造了一些途径。这些研究不仅可以将认知变化与脑发育联系起来，而且也提供了测量学习、教学、课程以及其他认知行为与产品的量表——这种量表在教育评价与实践中具有广泛的用途（Dawson-Tunik & Stein，待发表；Schwartz & Fischer，2005）。为了说明这种广泛的用途，我将把课堂学习作为微发展来分析——在学校时间段内的技能发展，如学生学习的分钟、小时、日、星期等。

143

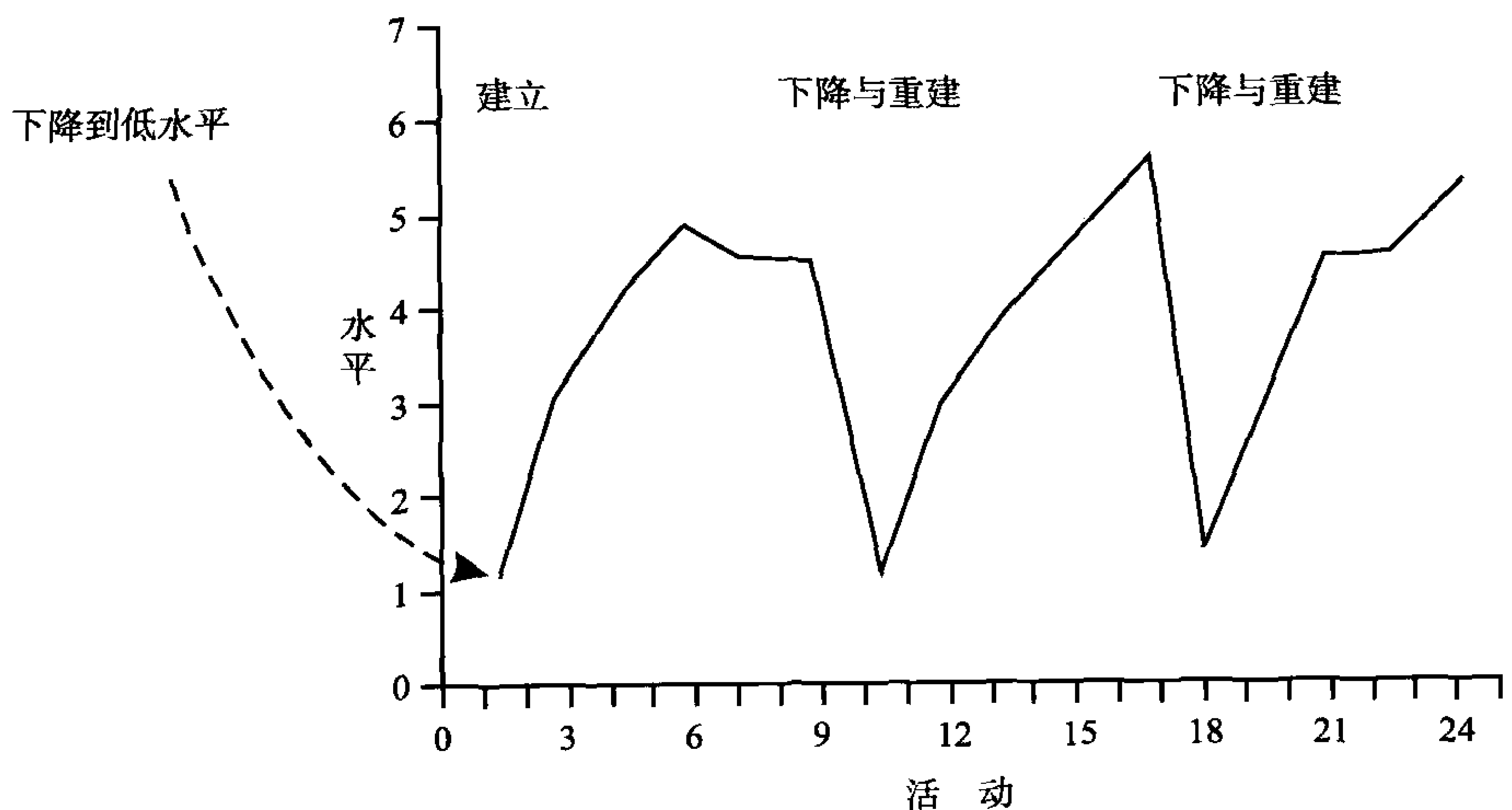


图 8.10 通过反复的重建或波动，建立起新的技能（水平 1 到 3 是指动作水平，水平 7 及其上是指抽象水平）。

在对已经形成的技能水平进行分析时，学生的行为表现出多次上升与下降的动态变化。这些变化模式反映了技能建构的周期性过程，在这一过程中，任务的特征与学生在该领域的专长相互作用。该模式也表明一般知识的建构（与学习具体的事实相反）是缓慢而艰难的。许多研究表明，很多高中与大学课程中所教的知识，例如内战的原因、物理中的能量概念、进化证据的分析、写一篇具有说服力的文章等，往往需要半学期或者一年以上的时间才能够掌握（Fischer et al., 2003；Salomon & Perkins, 1989）。

技能量表提供了一种方法来测量所有这些任务以及其他领域的行为与学习，因此可以根据统一的维度来评价任何一种行为，并根据这个维度对不同领域和任务中的行为进行比较。在一项为期数月的对学生学习的研究（中学理科生学习磁力现象，研究生学习如何运用计算机来做统计分析等）中，我们发现，学习是以一种反反复复的波动形式出现的（Granott, 2002；Schwartz & Fischer, 2005；Yan & Fischer, 2002）。学生开始时对任务或行为是低水平的理解，如运用计算机进行统计分析，逐渐建立一种情景中的技能，从动作到表征或者从表征到抽象，如图 8.10 所示。但是，由于情景的变化或者其他原因，又造成了理解水平的下降。然后学生又重新形成理解，并保持一段时间，但是会再一次下降。在学生学习新技能或者获得新理解时，这种过程本身会重复很多次，产生学习中所谓的波动模式（scalloping pattern）。

144

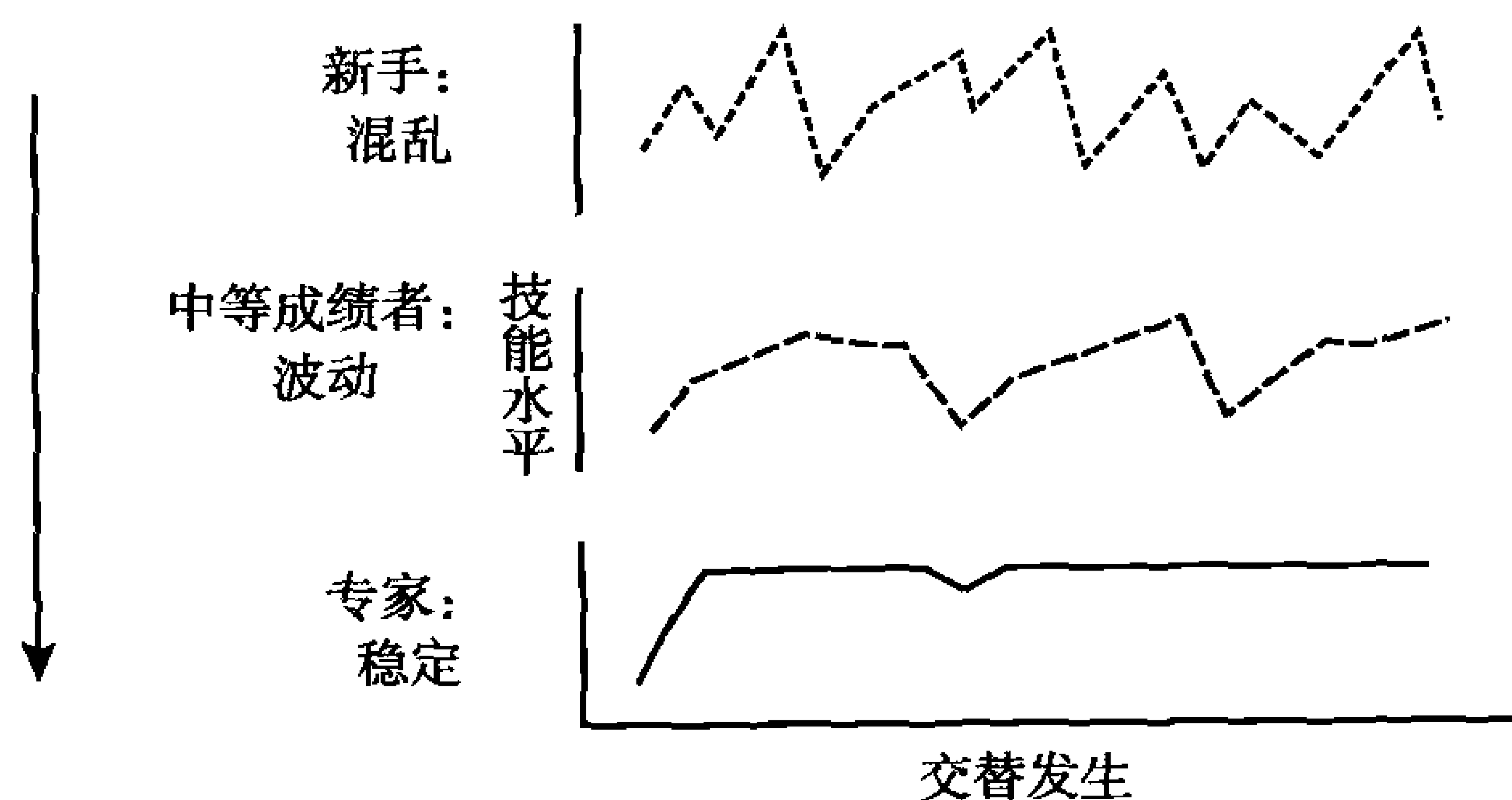


图 8.11　学习某项任务的增长曲线：新手、中等成绩者和专家

这种下降并不表明存在着困难，它是正常且必需的，反映了建立与重建一种技能需要不断地反复，才能在面临情景与状态的变化时最终保持这种技能。一般而言，掌握一种任务必须降低到最初的表征水平甚至动作水平（与婴儿相似），如图 8.10 所示，这样才可以描述任务或者情景的行为特征。人的能力降低到这种初始水平，为智力的适应提供了巨大的灵活性，因为人们可以学习新的感觉运动模式，从而在不同类型的任务中取得成功。对于一个新的任务来说，认知水平的下降是智力的一个重要组成部分。

但是这种波动模型有时只在学习情景中出现，它反映了学习过程的中点，如图 8.11 所示。当学生还是新手时，对他们必须做的任务还不熟悉，他们的成绩比图 8.10 中的变化还要大（Yan & Fischer, 2002）。高水平的技能不是在几个活动之后就能形成的，任何很快形成的相对复杂的技能总是会降下来。他们的成绩无规律地上下波动，如图 8.11 中上面那条增长曲线所示。随着他们对任务认识的增加，他们从这种混乱的模式逐渐转变为中间的这种波动模型（如图 8.11 中间那条曲线和图 8.10 的曲线所示），在这种模型下高水平的技能可以保持较长一段时间，但是仍然会遭遇突然变化、定期下降。在掌握任务一段时间后（一般是数月甚至数年），他们才能成为一个可以保持稳定、高水平成绩的专家，如图 8.11 下面那条曲线所示。专家常常在初始阶段探索任务，理解其特征（“搞清楚”），达到稳定阶段，进而逐步提高水平。他们偶尔也会遇到一些导致复杂性降低的事件，但一般是短暂的。

145

这样的学习不是朝高水平理解的简单直线式发展，而是一种扩大的周期性过程，在该过程中，学生反复建构与重构行为，从技能水平的无秩序变化到反复、逐步地重建技能（波动），最终达到相对稳定的专业水平。这说明，技能的复杂性量表可以启发学习与其他教育活动。在学习进步的过程中也可以分析脑的活动，研究脑活动的变化与专业技能的水平是如何相关的。在微发展中，随着学习的进步，前面所述的脑的生长周期也可能会明显起来。

从发展周期到对教育的启示

将认知发展周期与教育评价量表联系起来的研究，是认知科学研究对教育研究与实践的一项直接贡献。但是，对脑发展周期与教育之间联系的研究还远未成熟。将脑的生长周期与学习模式直接联系起来的研究最终将会说明学习的过程，尤其是个体与情境之间的差异。例如，根据假设，在特定的领域，如空间推理、数学、读写能力领域等，皮层网络周期之间的差异与儿童学习动机和学习有效性之间的差异有关。

但是目前，将脑发展的研究与教育连接起来的努力由于过度和不严谨的“应用”而得到了人们的严肃关注（本书 Bruer 一章；Fischer et al., 2007）。新闻记者、教育人员甚至一些脑科学家都过快地从脑科学的研究成果跳跃到了所谓的教育“启示”，而这些其实只是不合理的推测。一个可以说明过度应用及其危害的典型案例发生在 20 世纪七八十年代，一些科学家在首次提出头围的快速生长期（Epstein, 1974）之后，又提出了脑活动的快速生长期（Fischer &

146

Rose，1994；John，1977）。在短短的几年里，一些科学家和教育人员根据这些数据得出了许多完全未被证实的结论，如学生在脑快速生长的高原期不能学习任何新的东西，他们对很多学区提出课程改革的建议：在正常的年龄阶段，即脑发展的高原期，不要教新的概念，因为他们断定在此期间不会形成新的知识（Epstein，1978；Fischer & Lazerson，1984）。认知科学的研究证据，包括学校成绩与学习方面的数据从来没有支持过这种推测，但北美的一些学校严格地采纳着这些建议，因为支持者认为这些建议来自脑科学研究。我们中的一些人为之付出多年的努力，才终于清除这些不正确的观点。

另一种普遍性的错误是对脑发育的关键期进行过度推测（即在特定的时间段内具体经验影响脑的功能），得出了人们何时会说话、阅读、计算的结论（Bailey，Bruer，Symons，& Lichtman，2001；Snow & Hoefnagel-Hohle，1978）。这些论断也没有得到严格的实验证据支持，因而也是不合理的。

心理、脑、与教育领域的研究者与教育者必须谨慎地得出教育实践的结论，不能从脑的研究成果过度推测出其教育启示，除非有直接的证据来评价学习与成绩，并能将脑与行为以及行为与实践联系起来。例如，脑和认知发展的周期启发了学习与教育实践，并为分析学习模式和学生差异提供了有用的新工具，使教育干预能够更加理想。在评价与比较不同领域与个体的学习模式并将其与教学和课程相联系方面，认知发展周期的相关研究已经结出硕果。但是目前的认识状态仍然不允许从脑的生长周期直接推论到教育实践。要在心理、脑与教育之间建立联系，就必须在认知科学、生物科学和教育学之间，在研究者与实践者之间建立起互惠的联系。随着这些联系的发展，来自教育实践的问题与洞见将丰富脑与认知科学的研究，就像科学发现将丰富教育实践一样。

参考文献

Bailey，D. B.，Jr.，Bruer，J. T.，Symons，F. J.，and Lichtman，J. W.（eds.）（2001）. *Critical Thinking About Critical Periods*. Baltimore. MD：Paul H. Brookes Publishing.

Bell，M. A.（1998）. The ontogeny of the EEG during infancy and childhood：Implications for cognitive development. In B. Garreau（ed.）*Neuroimaging in Child Psychiatric Disorders*（pp. 97–111）. Berlin：Springer-Verlag.

Bell，M. A. and Fox，N. A.（1994）. Brain development over the first year of life：Relations between electroencephalographic frequency and coherence and cognitive and affective behaviors. In G. Dawson & K. W. Fischer（eds.），*Human Behavior and the Developing Brain*（pp. 314–345）. New York：Guilford Press.

（1996）. Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy：Evi-

dence from EEG coherence. *Developmental Psychobiology*, 29, 551-561.

Bidell, T. R. and Fischer, K. W. (1992). Cognitive development in educational contexts: Implications of skill theory. In A. Demetriou, M. Shayer, & A. Efldides (eds.), *Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development: Implications and Applications for Education* (pp. 9 - 30). London: Routledge & Kegan Paul.

Blinkov, S. M. and Glezer, I. I. (1968). *The human Brain in Figures and Tables.* New York: Plenum Press.

Case, R. (1998). The development of conceptual structures. In D. Kuhn and R. S. Siegler (eds.), and W. Damon (Series ed.), *Handbook of Child Psychology*: Vol. Ⅱ. *Cognition, Perception, and Language.* New York: Wiley.

Coch, D., Fischer, K. W., and Dawson, G. (eds.) (2007). *Human Behavior, Learning and the Developing Brain: Normal Development* (2nd edn.). New York: Guilford.

Dawson, G. and Fischer, K. W. (eds.) (1994). *Human Behavior and the Developing Brain.* New York: Guilford Press.

Dawson, T. and Wilson, M. (2004). The LAAS: A computerizable scoring system for small- and large-scale developmental assessments. *Educational Assessment*, 9, 153-191.

Dawson-Tunik, T. L., Commons, M., Wilson, M., and Fischer, K. W. (2005). The shape of development. *European Journal of Developmental Psychology*, 2, 163-195.

Dawson-Tunik, T. L. and Stein, Z. (in press). Cycles of research and application in science education. In K. W. Fischer & T. Katzir (eds.), *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education.* Cambridge: Cambridge University Press.

Epstein, H. T. (1 974). Phrenoblysis: Special brain and mind growth periods. *Developmental Psychobiology*, 7, 207-224.

(1978). Growth spurts during brain development: Implications for educational policy and practice. In J. S. Chall and A. F. Mirsky (eds.), *Education and the Brain* (*Yearbook of the NSSE*). Chicago: University of Chicago Press.

Fischer, K. W. (1 980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 477-531.

Fischer, K. W. and Bidell, T. R. (1998). Dynamic development of psychological structures in action and thought. In R. M. Lerner (ed.) and W. Damon (Series ed.), *handbook of Child Psychology: Vol. I Theoretical Models of Human Development* (5th edn., pp. 467 - 561). New York: Wiley.

(2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In R. M. Lerner (ed.) and W. Damon (Series ed.), *Handbook of Child Psychology: Vol. I. Theoretical Models of Human Development* (6th edn., pp. 313-399). New York: Wiley.

Fischer, K. W. and Elmendorf, D. (1986). Becoming a different person: Transformations in

personality and social behavior. In M. Perlmutter (ed.), *Cognitive Perspectives on Children's Social Development. Minnesota Symposium on Child Psychology*, 18, 137-178. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Fischer, K. W., Immordino-Yang, M. H., and Waber, D. P. (2007). Toward a grounded synthesis of mind, brain, and education for reading disorders: An introduction to the field and this book. In K. W. Fischer. J. H. Bernstein, & M. H. Immordino-Yang (eds.), *Mind, Brain, and Education in Reading Disorders* (pp. 3-15). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Fischer, K. W., Kenny, S. L., and Pipp, S. L. (1990). How cognitive processes and environmental conditions organize discontinuities in the development of abstractions. In C. N. Alexander and E. J. Langer (eds.), *Higher Stages of Human Development: Perspectives on Adult Growth* (pp. 162-187). New York: Oxford University Press.

Fischer, K. W, and Lazerson, A. (1984). Research: Brain spurts and Piagetian periods. *Educational Leadership*, 41 (5), 70.

Fischer, K. W. and Rose, S. P. (1994). Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research. In G. Dawson and K. W. Fischer (eds,), *Human Behavior and the Developing Brain* (pp. 3-66). New York: Guilford Press.

Fischer, K. W., Yan, Z., and Stewart, J. (2003). Adult cognitive development: Dynamics in the developmental web. In J. Valsiner and K. Connolly (eds.), *Handbook of Developmental Psychology* (pp. 491-516). Thousand Oaks, CA: Sage.

Granott, N. (2002). How microdevelopment creates macrodevelopment: Reiterated sequences, backward transitions, and the zone of current development. In N. Granott and J. Parziale (eds.), *Microdevelopment: transition Processes in Development and Learning* (pp. 213-242). Cambridge: Cambridge University Press.

Granott, N., Fischer, K. W., and Parziale, J. (2002). Bridging to the unknown: A transition mechanism in learning and problem-solving. In N. Granott and J. Parziale (eds.), *Microdevelopment: Transition Processes in Development and Learning* (pp. 131-156). Cambridge: Cambridge University Press.

Hanlon, H. W., Thatcher, R. W. and Cline, M. J. (1999). Gender differences in the development of EEG coherence in normal children. *Developmental Neuropsychology*, 16, 479-506.

Hudspeth, W. J. and Pribram, K. H. (1990). Stages of brain and cognitive maturation. *Journal of Educational Psychology*, 82, 881-884.

Hudspeth, W. J. and Pribram, K. H. (1992). Psychophysiological indices of cerebral maturation. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 19-29.

John, E. R. (1977). *Functional Neuroscience*. Vol. Ⅱ: *Neurometrics*. Hillsdale, NJ Erlbaum.

Kitchener, K. S., Lynch, C. L., Fischer, K. W., and Wood, P. K. (1993). Developmental range of reflective judgment: The effect of contextual support and practice on developmental

stage. *Developmental Psychology*, 29, 893–906.

Lampl, M., Veldhuis, J. D., and Johnson, M. L. (1992). Saltation and stasis: A model of human growth. *Science*, 258, 801–803.

Matousek, M. and Petersén, I. (1973). Frequency analysis of the EEG in normal children and adolescents. In P. Kellaway and I. Petersén (eds.), *Automation of Clinical Electroencephalography* (pp. 75–102). New York: Raven Press.

Molenaar, P. C. M. (2004). A manifesto on psychology as idiographic science: Bringing the person back into scientific psychology, this time forever. *Measurement*, 2, 201–218.

Noonan, K. J., Farnum, C. E., Leiferman, E. M., Lampl, M., Markel, M. D., and Wilsman, N. J. (2004). Growing pains: Are they due to increased growth during recumbency as documented in a lamb model? *Journal of Pediatric Orthopedics*, 24, 726–731.

Piaget, J. (1983). Piaget's theory. In W. Kessen (ed.) and P. H. Mussen (Series ed.), *Handbook of Child Psychology*: Vol. I. *History*, *theory*, *and methods* (pp. 103 – 126). New York: Wiley.

Rakic, P. (1971). Guidance of neurons migrating to the fetal monkey neocortex. *Brain Research*, 33, 471–476.

(1988). Specification of cerebral cortical areas. *Science*, 241, 170–176.

Reznick, J. S. and Goldfield, B. A. (1992). Rapid change in lexical development in comprehension and production. *Developmental Psychology*, 28, 406–413.

Ruhland, R. and van Geert, P. (1998). Jumping into syntax: Transitions in the development of closed class words. *British Journal of Developmental Psychology*, 16 (Pt 1), 65–95.

Salomon, G. and Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, 24, 185–221.

Schwartz, M. S. and Fischer, K. W. (2005). Building general knowledge and skill: Cognition and microdevelopment in science learning. In A. Demetriou and A. Raftopoulos (eds.), *Cognitive Developmental Change*: *Theories*, *Models*, *and Measurement*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Siegler, R. S. (1997). *Children's Thinking* (3rd edn.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Snow, C. E. and Hoefnagel-Hohle, M. (1978). The critical period for language acquisition: Evidence from second language learning. *Child Development*, 49, 1114–1128.

Somsen, R. J. M., van't Klooster, B. J., van der Molen, M. W., van Leeuwen, H. M. P., and Licht, R. (1 997). Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra. *Biological Psychology*, 44, 187–209.

Stauder, J. E. A. M., Peter, C. M., and van der Molen, M. W. (1999). Brain activity and cognitive transition during childhood: A longitudinal eventrelated brain potential study. *Child Neuropsychology*, 5, 41–59.

Thatcher, R. W. (1992). Cyclic cortical reorganization during early childhood. Special Issue: The role of frontal lobe maturation in cognitive and social development. *Brain & Cognition*, 20 (1), 24–50.

(1994). Cyclic cortical reorganization: Origins of human cognitive development. In G. Dawson and K. W. Fischer (eds.), *Human Behavior and the Developing Brain* (pp. 232–266). New York: Guilford Press.

van der Molen, M. W. and Molenaar, P. C. M. (1994). Cognitive Psychophysiology: A window to cognitive development and brain maturation. In G. Dawson and K. W. Fischer (eds.), *Human Behavior and the Developing Brain* (pp. 456–490). New york: Guilford.

Yan, Z. and Fischer, K. W. (2002). Always under construction: Dynamic variations in adult cognitive development. *Human Development*, 45, 141–160.

151

第九章

脑机制与高水平技能的学习

Michael I. Posner, Mary K. Rothbart, and M. Rosario Rueda

概述

脑成像和基因序列这两个非常重大的科学发现对于科学家和教育学者理解认知和情绪技能学习中的个体差异具有很大帮助。对儿童及成人注意脑机制的研究表明，在冲突解决过程中有三个独立的神经网络控制警觉系统、定向系统和执行控制系统。作者使用注意系统测验分别对三个子系统的效能进行了评估，结果发现了显著的个体差异，这主要与儿童行为调控能力的评价有关。影响自我行为控制能力的主要是两种与多巴胺神经递质分泌相关的基因，它与前扣带回注意网络的一个节点的激活及其效能有关。从儿童早期开始，注意的控制不仅在他们的学习中有重要作用，同时也对儿童社会化以及共情的发展有重要影响。显然，理解注意控制与学习的关系能为教师和家长提供很多有用信息。

——编者

人类一直试图探讨人脑共有的神经网络与个体差异的关系，但没取得进展，近来有两项发展改变了对这一问题探讨的发展前景。第一项是脑成像技术的发展，利用这种技术我们就可以探测脑在思维时的变化情况（Posner & Raichle，1994）。通过颅外记录电信号或磁信号我们就有可能实时观测人在完成某种任务时各个运算方面所涉及的神经回路。虽然这种技术的某些方面很

久之前已经产生，但只是在过去 15 年间它才实现了人脑功能结构的局部成像。

20 世纪初，Santiago Ramony cajal（1937）第一次观察到人类的神经细胞。目前我们之所以能观测到人脑的活动，正是由于这些细胞的活动。这些细胞活动时会改变自身局部的血液供应。这样我们就能通过测量血液供应的变化来研究人类进行认知加工时哪些脑区被激活。

152

第二个方面的发展是 20 世纪末人类完整基因组序列的发现（Venter, Adams, Myers, Li et al. , 2001)。现在我们不仅可以研究神经网络的神经机制，同时也可以研究基因的差异如何影响人类利用这些网络进行各种技能学习和操作的能力。但是从基因天赋到现实表现并不是简单的关系，同时它也离不开我们对神经网络的理解。总之，这些发展为我们探讨自我调控（思维、情绪以及良好学业成就所需的行为）的神经机制提供了可能。

注意网络

功能成像技术使我们能研究人类完成各种认知任务时所激活的脑区，注意的研究就经常使用该技术（Corbett & Shulman, 2002; Driver, Eimer, & Macaluso, 2004; Posner & Raichle, 1994)。脑成像数据表明，有三个神经网络与注意的不同方面相关。这些网络主要负责警觉、定向和执行控制功能(Posner & Raichle, 1994)。表 9.1 总结了这三个神经网络对应的脑结构和神经递质。警觉被定义为对输入刺激达到并维持较高的敏感性；定向是对输入感觉信息的选择；执行控制是对思维、情感和行为反应的监控及三者冲突的解决。警觉系统主要与丘脑以及额叶和顶叶的一些皮层区域有关。改变警觉水平的一种非常有效的方法是在目标刺激出现之前给予警告信号。有研究者认为预警信号影响唤醒水平是因为肾上腺素调节了相关的神经活动（Marrocco & Davidson, 1998)。

表 9.1　与三个注意网络分别相关的神经结构和神经递质

功　能	结　构	递　质
定向	顶上小叶 颞顶联合区 额眼区 上丘脑	乙酰胆碱

续表

功 能	结 构	递 质
警觉	蓝斑 右侧额叶和顶叶皮层	去甲肾上腺素
执行注意	前部扣带回 腹外侧前额叶 基底神经节	多巴胺

定向性主要是使注意与外部感觉信号源保持一致。当眼部运动与注意运动保持一致时，这会比较明显，但没有眼部运动时，这种现象则不明显。视觉信息的定向系统主要与后部脑区有关，包括顶上小叶、颞顶联合区以及额叶眼动区（frontal eye fields）（corbetta & Shulman，2002）。如果预先呈现一个提示目标刺激可能出现位置的线索，那么被试就会将注意指向这个线索化的位置，这样就可以操控被试的指向性。（Posner，1980）。事件相关的功能磁共振成像（fMRI）研究表明，顶上小叶与线索呈现后的注意定向有关（Corbetta & Shulman，2002）。人类的顶上小叶与猴子的外侧顶内沟比较相近，而外侧顶内沟主要负责猴子的眼部运动（Andersen，1989）。当目标刺激出现在非线索化的位置时，人们就要停止对当前位置的注意，并将注意转向新的位置，这时颞顶联合区会被激活（Corbetta & Shulman，2002）。顶下小叶和颞叶上部的损伤都与注意定向困难有关（Karnath，Ferber，& Himelbach，2001）。

153

注意的执行控制成分主要利用冲突任务如各种类型的 Stroop 任务进行研究。在 Stroop 任务中，被试需要对墨水的颜色（如红色）作出反应，同时忽视颜色词的名称（如蓝色）（Bush，Luu，& Posner，2000）。解决 Stroop 任务中的冲突主要激活了额叶中线区域（前扣带回）和外侧前额叶（Botvinick，Braver，Barch，Carter，& Cohen，2001；Fan，Flombaum，McCandliss，Thomas，& Posner，2003）。另外有证据表明在中央刺激和周围刺激（与中央刺激可能一致也可能不一致）的冲突任务中这一网络也会被激活（Botvinick，et al.，2001；Fan，et al.，2003）。实验任务同样也为分离各脑区在执行注意网络中的不同作用提供了方法（McDonald，Cohen，Stenger，& Carter，2000）。近来，神经影像研究表明，执行控制网络参与了正性和负性影响的自我调节（Beauregard，Levesque，& Bourgouin，2001；Ochsner Kosslyn，Cosgrove，Cassem et al.，2001），另外它还参与了与智力相关的各种认知任务（Duncan，Seitz，Kolodny，Bor et al.，2000）。

154

个体差异性

绝大多数注意方面的研究都探讨一般能力问题或者研究脑损伤的影响以及注意的病理学问题。但是，个体对外部感觉事件的注意能力显然存在差异，当要求被试长期集中注意进行一系列的思考活动时，这种差异变得更为明显。为研究这种个体差异，我们开发出一种注意网络测验（ANT，参见图 9. 1），这一测验可以测量我们上面描述的三个注意子系统的效能（Fan，McCandliss，Sommer，Raz，& Posner，2002）。

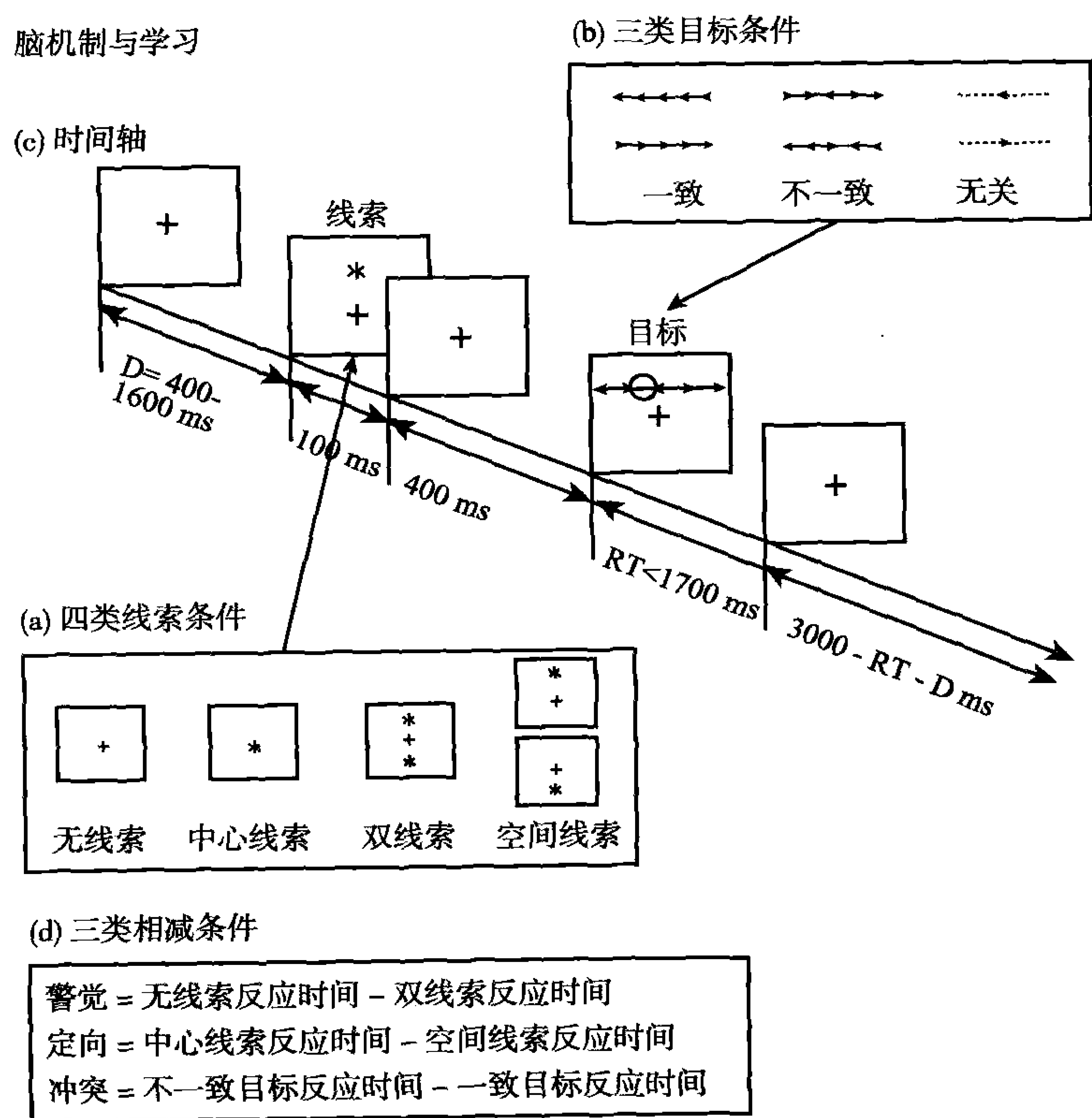


图 9. 1　Fan 等人（2002）提出的研究个体在三个注意网络上差异的注意网络测验的图示：（a）四个线索条件；（b）三类目标刺激；（c）事件序列；（d）通过相减来说明每个网络的效能。

测量结果会提供三个数字，这三个数字分别表示了个体在警觉、定向和执行控制三个方面的能力水平。在 40 个样本的数据中，我们发现在多次重复测

量时，这三个指标是相对稳定的；另外，这三方面的得分之间没有相关性。

测量成人注意能力差异时会遇到一个问题，那就是注意在多大程度上是遗传的。为了解决这一问题，我们利用注意网络测验分别研究了26对同卵和异卵同性别双胞胎（Fan，et al.，2001），结果发现同卵双胞胎在执行控制测验方面有显著相关。根据这一结果，我们估计执行网络的遗传程度为0.89。由于样本容量较小，如果按照95%的置信区间，那么对遗传的估计范围在0.3到0.9之间。但这一数据仍然证明基因能够影响执行控制网络的活动效能。

为了研究哪些基因与这些网络的执行效能有关，我们将执行控制效能与神经调质多巴胺（DA）联系起来（Fossella，Sommer，Fan，Wu et al.，2002）。研究中，我们对200人进行了注意网络测验，同时也测定了他们的基因类型，以便确定与其各自神经调质相关的基因中常见的多态性。结果发现有两类与多巴胺相关的基因（DRD4基因和MAOA基因）与注意效能有显著相关性。接着，我们进行了脑成像实验，实验主要比较了具有这两类基因中不同等位基因的被试，实验中对他们进行注意网络测验。结果发现，这些等位基因在前部扣带回（注意网络的一个主要结点）产生了不同的激活（Fan，et al.，2003）。之后，研究还发现其他一些多巴胺及5-羟色胺基因也与执行控制注意有关（Posner，Rothbart，& Sheese，2007）。

儿童早期

注意网络在视觉物体定向方面的发展最早始于婴儿期（Haith，Hazan，& Goodman，1988；Clohessy，Posner，& Rothbart，2001）。但是当对象模糊不清时，婴儿的表现较差，因为这会引起反应冲突（Clohessy，Posner，& Rothbart，2001）。冲突解决能力是执行控制注意网络的一个重要功能，儿童直到两岁时才能获得。利用冲突任务我们发现执行控制注意网络对认知的控制性在3岁儿童身上有了很大发展（Gerardi-Caulton，2000）。由于该年龄段儿童不能阅读，所以我们不是用词汇语义和墨水颜色作为冲突维度，而是把位置和一致性作为冲突的维度（空间冲突任务）。实验中儿童坐在两个反应键前面，一个在他左边，另一个在他右边。每按一次键都会呈现一个图片，在每一次实验中，这张图片与成对呈现的图片中的一张相同，它被呈现在屏幕左边或右边。如果儿童能根据刺激的一致性进行反应而不管图片与反应键的位置是否一致，他们就会受到奖励（Gerardi-Caulton，2000）。与空间位置一致时相比，当空间位置不一致时，反应的准确性和反应时都会下降，这表明他们要抵制优势性反应方式并

且解决两个竞争维度间的冲突。成年人在完成这些任务时也会产生冲突效应，这时主要激活前部扣带回（Fan，Flombaum et al.，2003）。24个月大的婴儿往往只固定在单个反应上，36个月的儿童完成这些任务时，准确性会提高，但是同成年人一样，在空间位置不一致的条件下，他们的反应时也会比较慢，同时反应的准确性也会降低。

能够研究执行控制注意的出现，十分重要，原因在于实验室中对冲突解决的认知测量与现实中儿童自我控制的很多方面都是相关的。对于那些较少受空间冲突影响的儿童，父母评价他们自我控制能力较高，在实验室中抑制控制得分也较高（Gerardi-Caulton，2000）。

问卷研究表明，努力控制性因素（测量注意集中性、抑制控制、低水平快乐度以及知觉敏感性的量表）与多变的负性情绪相反。这种关系也印证了已有观点：注意能力有助于降低负性情感，也有助于抑制冲动倾向性。

共情也与努力控制有强相关，如努力控制能力高的儿童共情能力也较强（Rothbart et al.，1994）。要对别人表示共情，就需要对别人的痛苦或快乐的信号进行解释。正常被试的脑成像研究表明，悲伤的面孔会激活杏仁核。随着悲伤程度的增加，注意网络中的前部扣带回也会被激活（Blair，Morris，Frith，Perrett，& Dolan，1999）。似乎扣带回的激活是我们注意他人悲伤情绪的基础。

这些研究表明，成功的社会化需要通过两条途径进行。对于更容易感到害怕的儿童，其杏仁核有很强的反应，这会产生痛苦的信号，从而使其更易对他人产生共情。这些儿童更容易社会化。如果个体没有这种努力控制，那么扣带回的发展就会使他们适当地注意杏仁核活动所产生的信号。这种努力控制不仅影响共情的发展，同时在意识的发展中也有重要作用。对于胆怯的学龄儿童，特别是他们的母亲使用温和的管教方式时，这些孩子的道德观念的内化会得到促进（Koenig，1995）。另外，对于努力自我控制水平较高的儿童，他们内化的控制也会得到促进（Kochanska，Murray，Jacques，Koenig，& Vandegeest，1996）。有两个分离的控制系统，一个是反应（害怕）控制系统，另一个是自我控制（努力的控制）系统，它们共同调节个体意识的发展。Ellis、Rothbart和Posner（2004）研究发现，对于青少年，努力控制以及由注意网络测验测量的控制冲突能力都能独立预测儿童的反社会行为，这也支持了努力控制和社会行为的关系。

努力控制的个体差异性同样与元认知知识的某些方面有关，比如心理理论（是指知道别人的行为是由某些信念、欲望以及其他心理状态驱动的）（Carlson & Moses，2001）。此外，即使我们排除年龄、智力以及工作记忆等其

他因素，那些需要抑制优势反应的任务与测量心理理论的任务也是相关的（Carlson & Moses，2001）。抑制控制和心理理论发展的时间进程是类似的，在2—5岁这个年龄段都是提高的。

学前儿童

利用儿童版注意网络测验我们已经将执行控制发展的研究追踪到学龄前（Rueda，Fan，Halparin，Gruber，Pappert，& Posner，2004）（参见表9.2）。从很多方面看，这些研究结果与成人被试得到的结果非常相似（参见图9.1）。儿童的反应时较长，但是他们三个网络的测量结果也是相对独立的。儿童在警觉和冲突方面得分比较高，表明当没有提醒他们新目标刺激出现时，他们在保持警觉状态以及解决冲突方面有困难。令人吃惊的是，根据注意网络测验结果，在侧抑制任务中（flanker task）个体解决冲突的能力从7岁到成年基本保持不变（参见表9.2）。

表9.2 注意网络效能的发展。研究1使用了儿童版注意网络测验，发现儿童从6岁到10岁注意网络效能是不断发展的；研究2分别用儿童和成人版注意网络测验比较了10岁儿童和成人注意网络的差异性。

158

儿童版注意网络测验							
		注意网络相减					
研究	年龄	警觉	定向	冲突	错误冲突	总体反应时间	总体错误率
1	6	79（75）	58（76）	115（80）	15.6	931（42）	15.8
	7	100（75）	62（67）	63（83）	0.7	833（125）	5.7
	8	73（67）	63（66）	71（77）	-0.3	806（102）	4.9
	9	79（47）	42（48）	67（38）	1.6	734（68）	2.7
2	10	41（47）	46（44）	69（44）	2.1	640（71）	2.2
	成人	30（32）	32（30）	61（26）	1.6	483（36）	1.2
成人版注意网络测验		← ← → ← ←					
2	10	78（61）	60（56）	156（76）	3.9	710（90）	2.8
	成人	40（34）	52（35）	131（62）	4.7	532（54）	2

大量证据表明，执行控制注意对于学校内学习内容（如读写能力的学习）（McCandliss，Sandak，Beck，& Perfetti，2003）以及其他各种使用一般智力的

学习内容的习得有着非常重要的作用（Ducan et al.，2000）。心理学家普遍认为训练通常涉及特殊领域，那些更一般的心理训练（如使用像数学、拉丁语这种规范性的课程进行训练）难以推广到所训练的特殊领域之外（Thorndike，1899；Simon，1969）。但注意则是例外。正如我们看到的，它是一个涉及特殊脑机制的领域，但是谁的功能影响着其他脑区的运作，似乎又说不明白（Posner & Petersen，1990；Posner & Raichle，1994）。从神经层面上看，冲突解决的神经网络同一般智力相关的脑区是重合的（Duncan et al.，2000）。对学生的注意进行外显或内隐的训练也是学校课程的一部分（Mills & Mills，2000），但是很少有研究能确切说明如何以及何时训练注意才能达到最佳效果。

执行控制注意网络的核心就是冲突解决能力。根据这一特征，同时在借鉴训练猴子走到外面的程序基础上我们也设计了一系列训练程序（Rumbaugh & Washburn，1995）。这些程序能训练猴子在类 Stroop 任务中的冲突解决能力（Washburn，1994）。

我们开始训练儿童用控制杆控制小猫的运动，预测物体朝哪运动，并给出最初的运动轨迹（参见图 9.2）。其他训练任务主要强调使用工作记忆保持信息以便与样本任务匹配及解决冲突（参见图 9.3）。

我们已经通过对一组 4 岁儿童进行 5 天简短的注意训练来检查它的有效性。这些儿童大概要用 7 天时间到实验室进行多次训练，持续 40 分钟。这些训练在两到三周的时间内完成。最初和最后几天用来评估训练效果，主要用注意网络测验和一般的智力测验（the K-BIT，Kaufman，& Kaufman，1990）以及情绪量表（儿童行为问卷或 CBQ）进行评估。在成人研究中，进行注意网络测验的同时，我们用 128 导脑电记录被试脑电变化情况，从而可以观察与执行控制注意相关的脑电波幅及脑激活的时间进程（Rueda，Fan，& Posner，2003）。

在第一个实验中，我们比较了 12 个接受训练的儿童以及随机挑选的没有接受训练但接受过两次测验的儿童。在第二个实验中，我们还是以 4 岁儿童为被试，但控制组儿童要做 7 次，他们只是观看视频，中间要他们偶尔作一下反应，以便能继续观看。所有儿童都非常喜欢这次经历（参见图 9.4），他们的监护人也都非常支持我们的工作。

现在我们详细说明一下我们的训练程序（图 9.2 至图 9.4），并简单地总结一下初步结果。当然，要影响已经发展多年的神经网络，5 天的训练时间的确太短。但是根据 K-BIT 测验结果，我们还是发现了对于训练组儿童，他们的智力有整体性的提高。这可能是由于实验组儿童在智力测验的非言语测验部分有改善的原因。同时也发现这一年龄段的儿童，用注意网络测验测得的反应时

非常不稳定，可信性比较低。所以，尽管整体的反应时有提高，但是我们在各种神经网络的测验上并未发现显著改进。我们确实发现，与控制组相比，训练组儿童在冲突解决上得分比较低（执行控制注意能力强）。在整个训练过程中我们没有发现他们情绪上的变化。对脑电数据的初步分析表明，4岁儿童在训练后可以发现先前研究中得到的与扣带回相关的脑电成分。

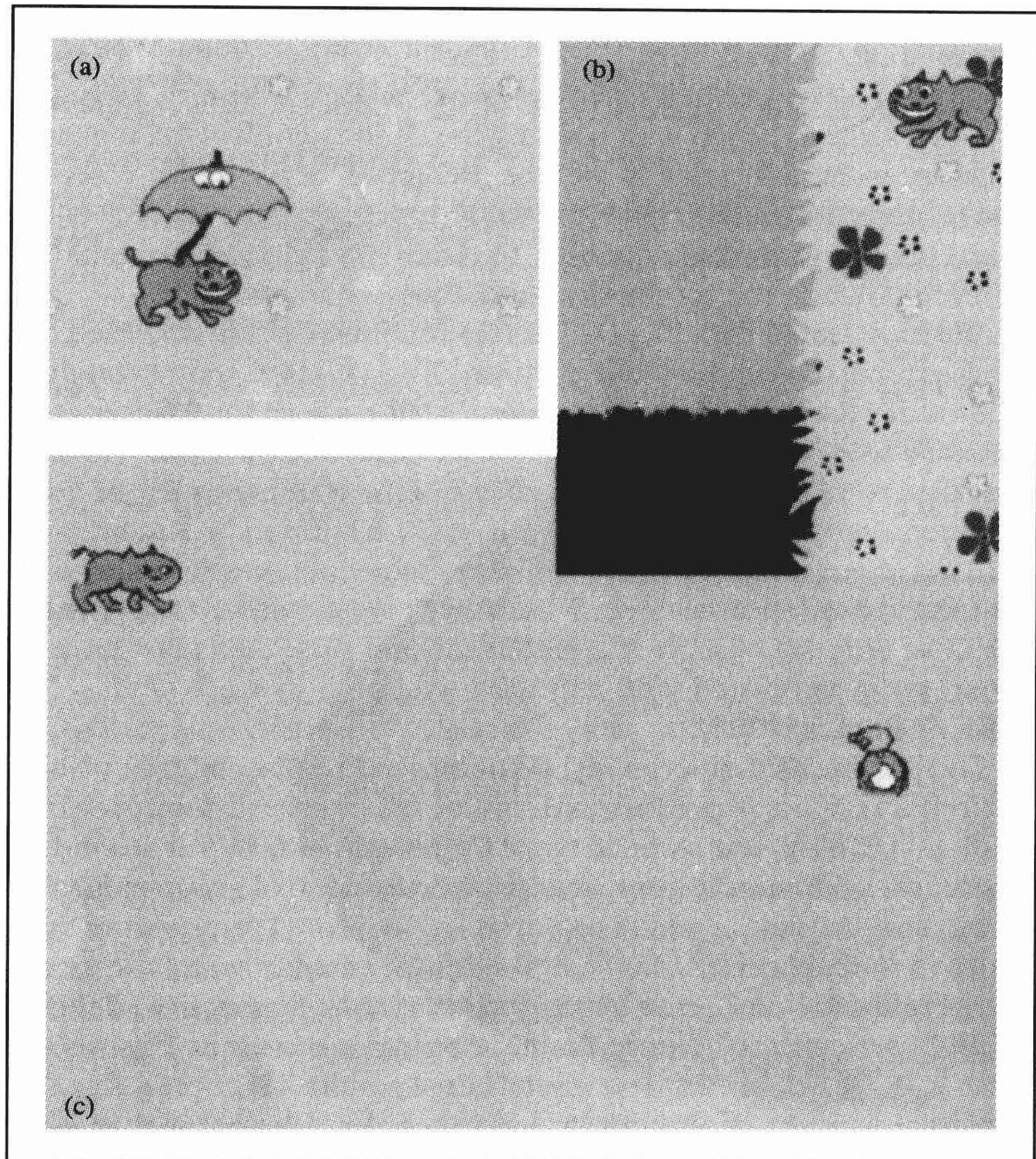


图9.2 追踪练习。(a) 儿童的任务是在雨伞出现后，移动小猫到移动的雨伞下以防止被雨淋，当雨伞在周围继续移动时，移动小猫使之保持在雨伞下。(b) 儿童移动小猫到草坪上同时避开泥巴。经过多次实验后，草的数量会减少，泥巴的数量会增加，直到儿童需要高度集中注意才能将小猫移到草坪上。(c) 当鸭子游出池塘时，儿童要用小猫阻止鸭子。因为鸭子总是走直线，所以，在这个训练中儿童可以学会预测鸭子会在哪里游出池塘。

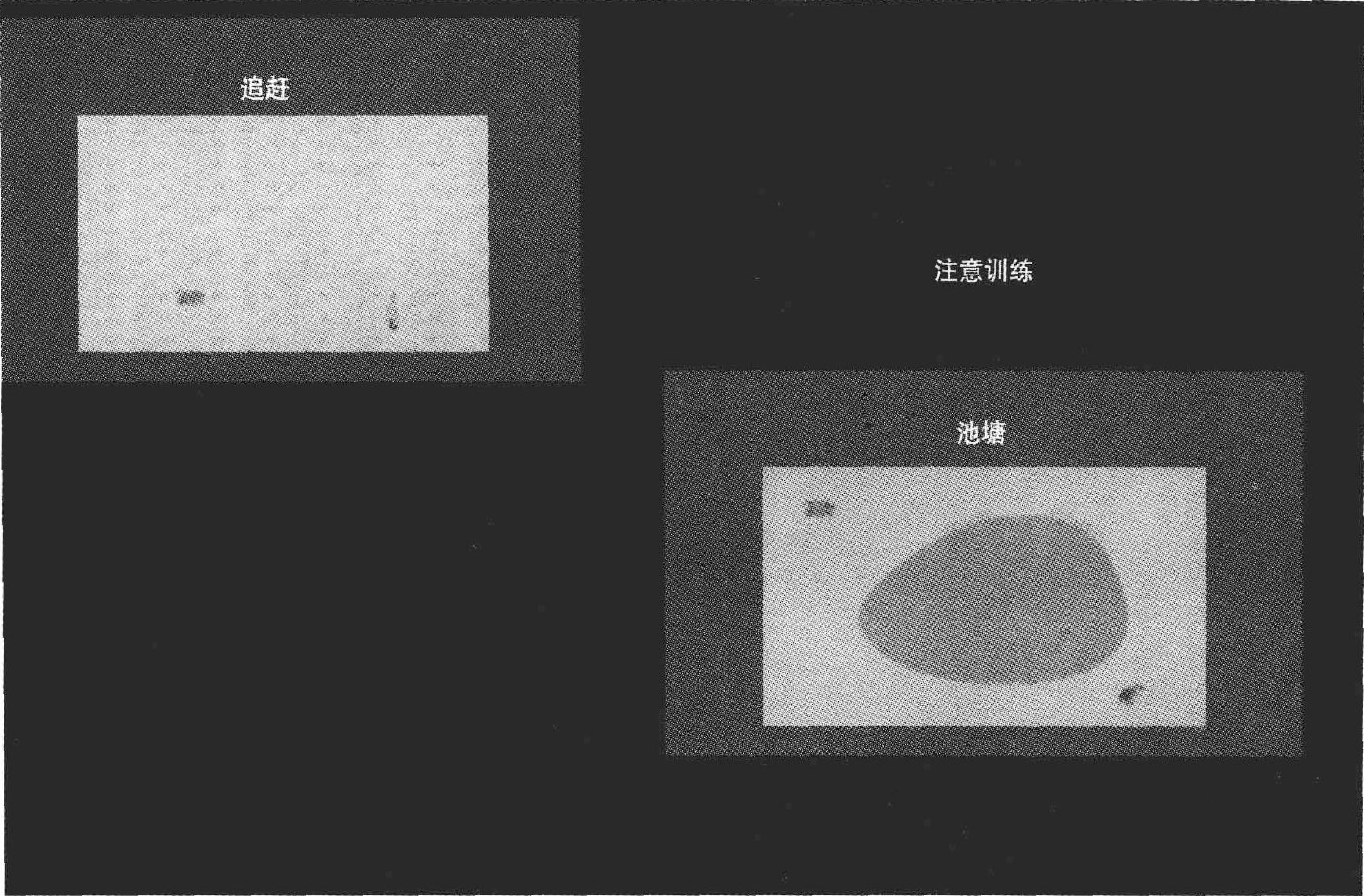


图 9.3 视觉注意和冲突解决训练。(a) 样本匹配训练。儿童需要选择褐色板上与板子上方左侧的样本图片一样的图片。经过多次练习，通过使竞争图片更加相似来增加匹配任务的难度。达到较高水平时，会将板子上的样本图片拿掉，这样儿童必须记住这些图片才能选择正确的匹配图片。(b) 冲突解决训练。儿童需要选择哪一个组里数字最多。在一致性条件下，含数字较多的组是由较大数值的数字组成的；不一致条件下，含数字较多的组是由较小数值的数字组成的。(c) 一系列相同难度训练完成情况的视觉反馈图示。

由于反应时数据变化较大，我们又重新对6岁儿童进行了研究。研究结果证实了训练程序可以改善执行控制注意网络的能力（Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccamanno, & Posner, 2005; Posner & Rothbart, 2007）。

随着接受训练的儿童人数的增加，我们能够对他们的情绪以及基因类型进行测量，从而有助于了解注意训练可以改进哪些方面。目前我们正在对所有儿童的基因类型进行测量，以确定哪些已知的基因与执行控制注意效能有关（Rueda et al., 2005）。同时我们也开始测量幼儿执行注意的早期形式，以便确定是否存在着训练效果最好的敏感期。



图9.4　注意训练中一个4岁儿童注意高度集中的图示

已公开发表的研究证据表明，对有多动症（ADHD）这类注意障碍的年龄较大的儿童进行注意训练可以改善他们集中注意的能力以及一般性智力（Kerns, Esso, & Thompson, 2000; Klingberg, Forssberg, 2002; Shalev, Tsal, & Mevorach, 2002）。因此，我们正同其他研究者合作，对有多动症、自闭症等学习相关障碍的儿童进行训练。这些项目可以检测我们的训练程序是否对那些特殊障碍儿童有效，而注意障碍只是他们障碍的一部分。我们也希望学前学校能把我们的训练程序作为他们学前课程的一个特定部分。这样就能使我们的训练具有长期性，并且也可以检测在社会群体中进行的其他类型的训练（Mills &

Mills, 2000；另见本书 van Geert & Steenbeek)。

虽然我们不知道这一训练程序是否最佳，但是我们相信，从儿童早期特定神经网络发展中得到的证据，已经为不断探索是否能够提高儿童注意能力提供了有力的理论依据。另外，也可以确定这种方法能否推广到儿童在学校里必须掌握的各种技能的学习过程中去。

参考文献

Andersen, R. A. (1989). Visual eye movement functions of the posterior parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 12, 377-403.

Beauregard, M., Levesque, J., and Bourgouin, P. (2001). Neural correlates of conscious self-regulation of emotion. *Journal of Neuroscience*, 21, RC 165.

Blair, R. J. R., Morris, J. S., Frith, C. D., Perrett, D. I., and Dolan, R. J. (1999). Dissociable neural responses to facial expression of sadness and anger. *Brain*, 1222, 883-893.

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Batch, D. M., Carter, C. S., and Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.

Bush, G., Luu, P., and Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in the anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Science*, 4/6, 215-222.

Carlson, S. T. and Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory con-trol in children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053.

Clohessy, A. B., Posner, M. I., and Rothbart, M. K. (2001). Development of the functional visual field. *Acta Psychologica*, 106, 51-68,

Corbetta, M. and Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Neuroscience Reviews*, 3, 201-215.

Driver, J., Eimer, M., and Macaluso, E. (2004). Neurobiology of human spatial attention: Modulation, generation, and integration. In N. Kanwisher and J. Duncan (eds.), *Attention and Performance XX: Functional Brain Imaging of Visual Cognition* (pp. 267-300). Oxford: Oxford University Press.

Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H., Ahmed, A., Newell, F. N., and Emslie, H. (2000). A neural basis for general intelligence. *Science*, 289, 457-460.

Ellis, L. K., Rothbart, M. K., and Posner, M. I. (2004). Individual differences in executive attention predict self-regulation and adolescent psychosocial behaviors. *Ann. NY Acad. Sci.* 1-21, 331-340.

Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M., and Posner, M. I. (2003). Cognitive and brain mechanisms of conflict. *Neuroimage*, 18, 42-57.

Fan, J., Fossella, J. A., Summer T., and Posner, M. I. (2003). Mapping the genetic variation of executive attention onto brain activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, 100, 7406-7411.

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, M., and Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14 (3), 340-347.

Fan, J., Wu, Y., Fossella, J., and Posner, M. I. (2001). Assessing the heritability of attentional networks. *BioMed Central Neuroscience*, 2, 14.

Fossella, J., Sommer, T., Fan, J., Wu, Y., Swanson, J. M., Pfaff, D. W., and Posner, M. I. (2002). Assessing the molecular genetics of attention networks. *BMC Neuroscience*, 3, 14.

Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, 3/4, 397-404.

Haith, M. M., Hazan, C., and Goodman, G. S. (1988). Expectation and anticipation of dynamic visual events by 3.5 month-old babies. *Child Development*, 59, 467-479.

Karnath, H-O., Ferber, S., and Himmelbach, M. (2001). Spatial awareness is a function of the temporal not the posterior parietal lobe. *Nature*, 411, 95-953.

Kaufman, A. S. and Kaufman, N, L. (1990). *Kaufman Brief Intelligence Test - Manual Circle Pines*, MN: American Guidance Service.

Kerns, K. A., Esso, K., and Thompson, J. (1999). Investigation of a direct intervention for improving attention in young children with ADHD. *Developmental Neuropsychology*, 16, 273-295.

Klingberg, T., Forssberg, H., and Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781-791.

Kochanska, G. (1995). Children's temperament, mothers' discipline, and security of attachment: Multiple pathways to emerging internalization. *Child Development*, 66, 597-615.

Kochanska, G., Murray, K., Jacques, T. Y., Koenig, A. L., and Vandegeest, K. A. (1996). Inhibitory control in young children and its role in emerging internationalization. *Child Development*, 67, 490-507.

MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., and Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835-1838.

Marrocco, R. T. and Davidson, M. C. (1998). Neurochemistry of attention. In R. Parasuraman (ed.), *The Attention Brain* (pp. 35-50). Cambridge, MA: MIT Press.

Mills, D. and Mills, C. (2000). *Hungarian Kindergarten Curriculum Translation*. London Mills Production Limited.

Ochsner, K. N., Kossyln, S. M., Cosgrove, G. R., Cassem, E. H., Price, B. H., Nierenberg, A. A., and Rauch, S. L. (2001). Deficits in visual cognition and attention following bilateral anterior cingulotomy. *Neuropsychologia*, 39, 219-230.

Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. The 7th Sir F. C. Bartlett Lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.

Posner, M. I. and Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.

Posner, M. I. and Raichle, M. E. (1994). *Images of Mind*. Scientific American Books.

Posner, M. I. and Rothbart, M. K. (2007). *Educating the Human Brain*. Washington DC: APA.

Posner, M. I., Rothbart, M. K. and Sheese, B. E. (2007). Attention genes. *Developmental Science*, 10, 24-29.

Ramóny Cajal, S. (1937). *Recollection of My Life*. Philadelphia: American Philosophical Society.

Rothbart, M. K., Ahadi, S. A., and Hershey, K. (1994). Temperament and social behavior in children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 40, 21-39.

Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Pappert, L., and Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42, 1028-1040.

Rueda, M. R., Fan, J., and Posner, M. I. (2003). Development of the time course for resolving conflict. Poster presented at the *Cognitive Neuroscience Society*.

Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B., Saccamanno, L. and Posner, M. I. (2005). Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention. *Proc. U. S. National Acad. of Sciences*, 102, 14931-14936.

Rumbaugh, D. M. and Washburn, D. A. (1995). Attention and memory in relation to learning: A comparative adaptation perspective. In G. R. Lyon, and Krasengor, N. A. (eds.), *Attention, Memory and Executive Function* (pp. 199 - 219). Baltimore, MD: Brookes Publishing Co.

Semrud-Clikeman, M., Nielsen, K. H., and Clinton, A. (1999). An intervention approach for children with teacher and parent-identified attentional difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 32, 581-589.

Shalev, L., Tsal, Y., and Mevorach, C. (2003). Progressive attentional training program: Effective direct intervention for children with ADHD. *Proceedings of the Cognitive Neuroscience Society*, New York, pp. 55-56.

Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.

Thorndike, E. L. (1903). *Educational Psychology*. New York: Teachers College.

van Veen, V. and Carter, C. S. (2002). The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 593-602.

Venter, J. C., Adams, M. D., Myers, E. W., Li, P. W., Mural, R. J., et al., (2001). The sequence of the human genome. *Science*, 291, 1304-1335.

Washburn, D. A. (1994). Stroop-like effects for monkeys and humans: Processing speed or strength of association? *Journal of Psychological Science*, 5 (6), 375-379.

第十章

开发脑：学习与教育科学的功能成像方法

Hideaki Koizumi

概述

单纯的学习与真正的教育之间有着巨大的不同。单纯的学习涉及对环境的简单适应，这在鸟类的印刻机制上可找到原型。而教育却只发生在人类身上，通过遗传与表观遗传（epigenetic，又译“后成”，指亲代与子代间不依赖DNA的遗传——译者注）过程的互动来添加和控制新的刺激与信息。Koizumi寻求通过脑成像技术来建立脑功能的知识，以真正提高教育，促进对人类重要问题的理解，例如不但包括物理学与生物学的教育，还包括恨与爱的教育。Koizumi开发了一项新技术——光学成像技术（optical topography）。这是一种无创性的脑成像技术，使用近红外技术来观察婴儿、儿童、成人、老年人与脑损伤者的脑活动。该技术解释的一个问题是婴儿脑的可塑性，包括区分语言与其他声音，以及区母语与其他语言。这一技术在教育学中有着光明的前景，因为它不需要儿童在成像过程中保持一动不动，并且可以运用于相对自然的情境中，这是其他脑成像技术所做不到的。

——编者

在20世纪，由笛卡尔在17世纪最先倡导的还原主义方法论带来了举世瞩目的成就，特别是在科学与技术领域。然而，我认为，在21世纪，综合长期以来在还原主义统治下产生的、差异不大的各种学科将变得十分重要。20世

纪后半期已经出现了向这个方向前进的趋势，多学科融合的呼声开始将来自不同领域的人们聚集到一起。然而经验告诉我们，仅仅这样还不足以架设学科间的桥梁（Bruer，本书），不足以产生学科融合以至整合（Rothschild，1996；Koizumi，1999a）。整合需要一个动态的过程。我把这种动态的概念与操作过程称为“超学科”（trans-disciplinarity，TD）（Koizumi，1995，1996a，1999a，2000a，2001）。这个概念可以简称为TD。在TD这一语境中，整合是这样一种过程：它能够动态地融合与连接不同学科，给多学科合作带来新的维度。图10.1概括和描述了这一概念。

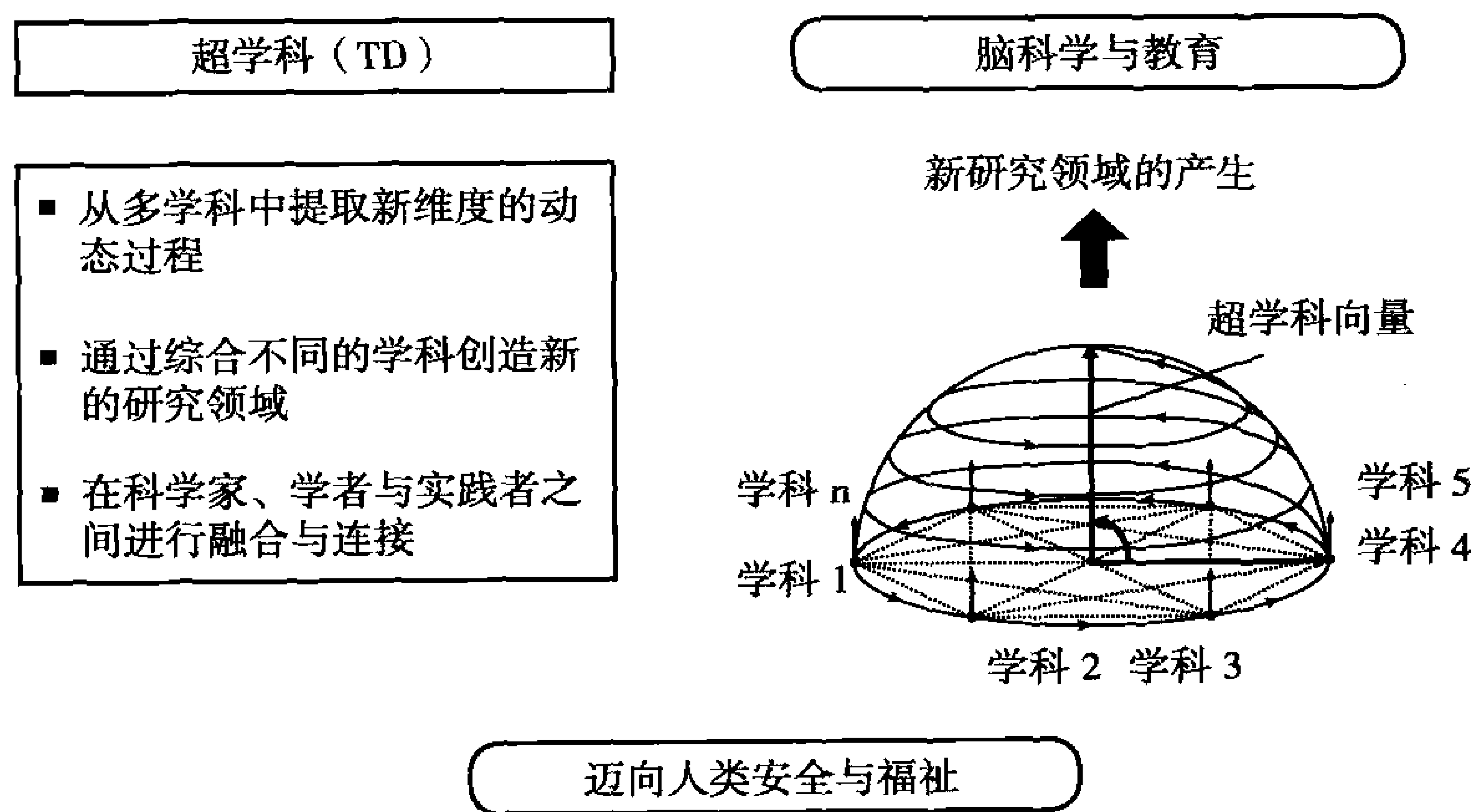


图 10.1　超学科：综合重于还原

这一概念描绘基于与量子力学中角动量自旋状态配对的类比。日本的“开发脑”与“脑科学与教育”计划构成了一个具有代表性的超学科领域雏形。这一全新的学术领域在一系列始于2000年的国家项目中为各种相关学科之间的结合提供了条件（Koizumi，1995，1996b，2000b，2000c，2003b，2004b）。

学习与教育的基础

宇宙与生命

当我们思考地球的生物圈时，我们可以将其看作由太阳与广阔宇宙所构成的巨大热力学引擎所驱动的。生物圈沐浴在相对高能低熵的太阳光子中，然而却向宇宙辐射相对低能高熵的光子。先不说其他的功能，这个巨大的热力学引

擎驱动了全球水循环与生物圈中的生命循环。我们把生命定义为一种使用能量产生负熵的自我复制系统，在这样一种语境中特别恰如其分。

168 人们认为大爆炸发生在大约135亿年以前。我们无法知道它之前所发生的任何事情；这是科学的一个根本局限。通过对陨石进行同位素鉴定，我们认为太阳系生成于约46亿年前。从化石分析来看，科学家认为生命出现在约38亿年以前。从那时开始，基因就已经在一代一代地积累使生命与环境相适应的信息了。中枢神经系统出现于大约3亿年以前，并且经历了显著的进化（Sagan，1977；Britten et al.，1969）。从适应性信息加工的角度来说，中枢神经系统的演化特性就是，学习以及由此而形成的适应过程在一代以内就可以发生。遗传与表观遗传过程之间的关系是我们找到一种更加科学的教育观的关键（Koizumi，1996b）。

学习与教育的生物学定义

从心理学角度来说，印刻（imprinting）是学习的一个原型例证。在这一现象中，一个刚刚孵化出来的雏鸟通常将它看到的第一个运动的物体视作它的“妈妈”。印刻必须在孵化后最长24小时的关键期内发生（Hess，1959）。

对于包括大雁在内的其他物种来说，进一步的学习行为还包括迁徙，小鸟通过跟随其父母学习这项技能。然而，人工孵化的雏鸟通常无法正常地学习如何迁徙。在Lishman的著名研究中，他成功地使用一架轻型飞机使人工孵化的小雁形成了印刻现象，并引导它们从加拿大北部飞到了美国（Lishman，1997）。一旦教会了鸟儿，它们在第二年就可以独立地进行迁徙了。迁徙是后天习得行为的这一发现，对于我们理解学习与教育具有重要的意义。

虽然人类与黑猩猩的DNA碱基排列的差异大约只有1%，研究者们对灵长类动物进行研究后发现，黑猩猩虽会通过模仿学习，但不会彼此教育（Goodall，2001；Matsuzawa，2003）。

数年前，我注意到伟大的哲学家Immanuel Kant在其死后发表的《论教育学》[*Lecture Note on Pedagogy*（Kant，1803）] 中提到过一个有意思的实验。他把一只麻雀的蛋与金丝雀巢中的金丝雀蛋放在一起。Kant发现他养出了一只会唱歌的麻雀，并且他注意到金丝雀爸爸似乎在主动地指导它的后代。这个实验与始于20世纪60年代鸟类学中的“寄养实验”（farm-out experiments）很相似。在更晚一些时候，鸟类学家证实，鸟爸爸的确扮演了孩子们的歌唱教师 169 角色。

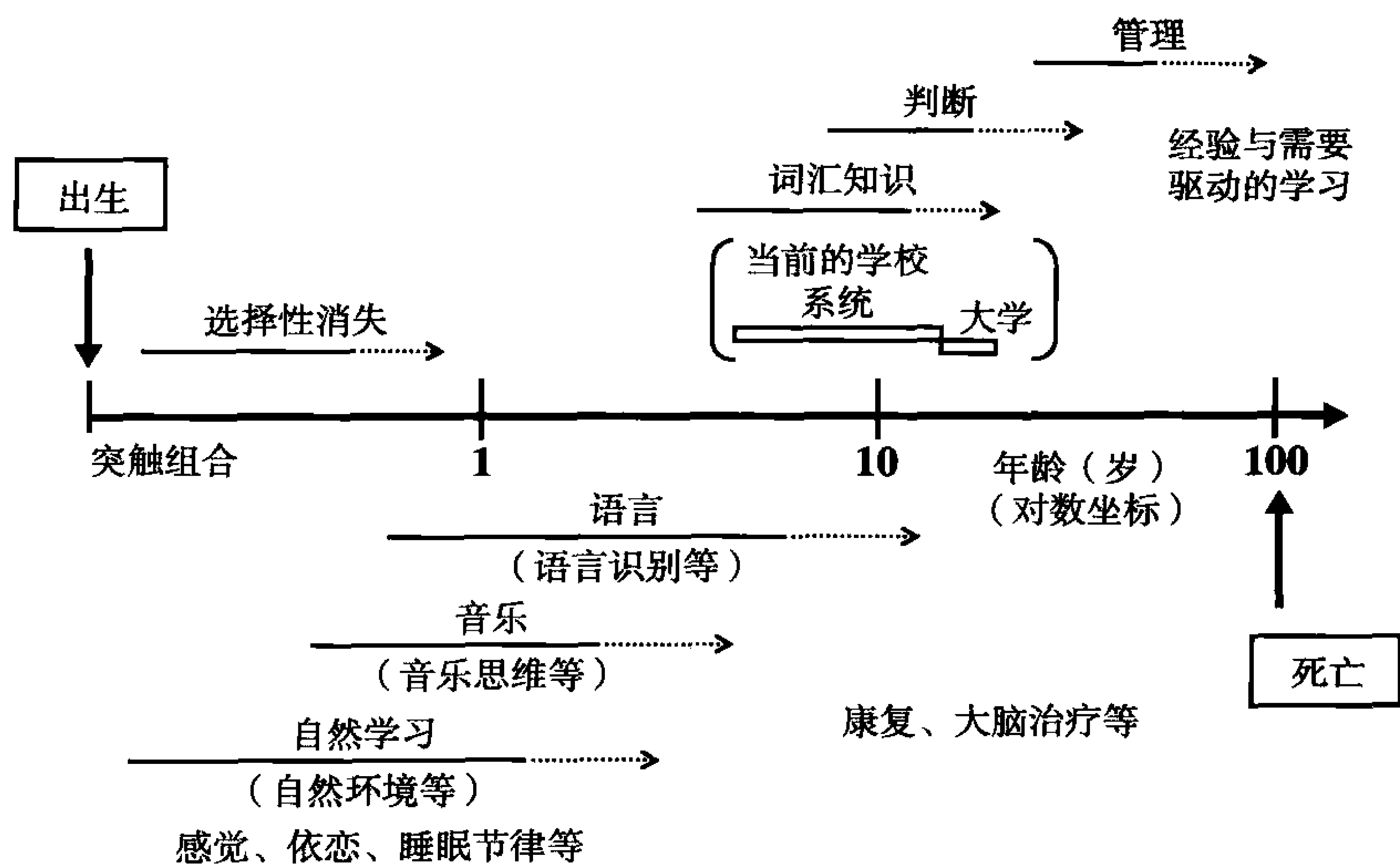


图 10.2　终身学习与教育。根据发展阶段而设计课程的启示。

生物学的视角使得我们可以对学习与教育重新进行定义（见 Fischer，本书）；学习是根据外部环境刺激建立神经联结的过程，而教育则是控制或添加刺激，或激发学习意向的过程。这些概念是综合性的，并包含了人类整个生命过程（Koizumi，2000c，2004b）。

突触的发生与消除

诺贝尔奖获得者 Hubel 与 Wiesel 进行了初级视觉皮层柱状结构的开创性研究。作为这一开创性研究的延伸，20 世纪 70 年代的很多研究者研究了这些结构形成的关键期（Stryker et al.，1978）。如果幼猫的生长环境中唯一的视觉刺激来源就是竖直条纹的话，它将看不见水平线，这种缺陷将保持一生。如果环境中的刺激不包含水平线，那么负责水平线的感受柱将消失。

因此，即使是脑中视觉系统的形成也被归为一种学习过程，这一学习过程具有关键期（Singer，本书）。　170

人类视觉皮层中眼优势柱的情形也与之类似。有关优势柱发展知识的一个重要临床意义在于，我们知道如果在婴儿期有一只眼被眼罩遮蔽，那么此眼的视力将变差。如今，眼科医生会强烈建议婴儿在 18 个月以前绝对不能佩戴眼罩。

信息从许多树突进入神经元的细胞体，而输出信息则通过轴突离开。在胎儿期，遗传信息为我们提供了大量过剩的神经元，然后再将它们消除。新生儿阶段中产生大量的突触，然后在儿童期的很长一段时间内逐渐消除。就人类视觉皮层区来说，突触数在大约出生后 8 个月时达到峰值（Huttenlocher，1990）。个体的这种神经元选择过程会形成对环境的适应，这也就是为什么在只有竖直条纹的环境中养大的猫会变得看不到水平线。

髓鞘形成是指髓磷脂包裹轴突的过程，它是我们需要考虑的另一个因素。这一过程使得信号传输速度提高了大约 100 倍。髓鞘形成的顺序是由基因编排的。Flechsig 在大约 100 年前就发现了一这点，并画出了一个显示这个顺序的脑图（Flechsig，1898）。有一些区域的髓鞘在胎儿期就已经形成。髓鞘形成继续在其他脑区进行，一直到 20 岁左右达到前额叶联络皮层。这种功能区域的发展顺序可应用于课程安排的优化（Koizumi，1999）。

无创性脑功能测量的重要性

要将“脑科学与教育”这一概念应用到实际问题上去，完全无创性的脑功能成像方法是非常重要的。目前我们有三种可以无创性地完成高级脑功能成像的方法：功能性磁共振成像（functional Magnetic Resonance Imaging，fMRI）（Ogawa et al.，1992；Yamamoto，E. et al.，1992），脑磁图（magneto-encephalography，MEG）（Brenner et al.，1978）和光学成像（optical topography，OT）（Maki et al.，1995；Yamashita et al.，1996；Koizumi et al.，1999）。因为每一种方法都有其优点与局限，我们有时会互补地运用这三种方法。

光学成像的基本原理

在光学成像技术中，我们使用红外线对高级脑功能进行成像。我们在 171 1995 年发表了世界上第一篇关于光学成像技术的论文，并从那以后一直在不断将其发展与完善（Maki et al.，1995；Koizumi et al.，1999b，2003a；Kennan et al.，2002；Taga et al.，2003）。我们将一束直径为 1 毫米的可弯曲的光纤置于头皮上发根之间。进入脑的近红外光将受到神经元活动所引起的携氧、脱氧血红蛋白浓度以及血红蛋白总浓度的影响。接着，光子探测器所接收到的信号被用来对这些变化进行成像。这一方法（近红外波谱学，Near-Infrared Spectroscopy，NIRS）的魅力在于，它可以用于在自然情境下对被试进

行测验。

在进行脑功能分析时，安全性十分重要，因为我们希望这一测验可以应用于所有的人类被试，特别是婴儿与儿童。构成人类组织中分子的化学能有几个电子伏的量级，因此，如果我们使用的光子能量小于一个电子伏，那么原则上讲，它就是安全的，只会产生一些热效应。我们认为光学成像技术是安全的，因为其光子能量在此范围之内，且它所产生的热效应可以忽略不计（Ito et al.，2000）。功能磁共振也是安全的，至少从光子能量角度来说是如此。然而对于磁共振，我们应该对迅速变化的梯度磁场以及静磁场的强度多加小心。

新生儿与婴儿的脑功能成像

光学成像可以为我们绘出特定行为过程中的脑活动图。例如在书写活动中，我们在布洛卡区与韦尼克区都可以看到激活（参见图 10.3）。（Yamamoto et al.，1999）位于左侧额叶的布洛卡区负责词汇的产生，而左侧颞叶的韦尼克区则负责词汇理解。

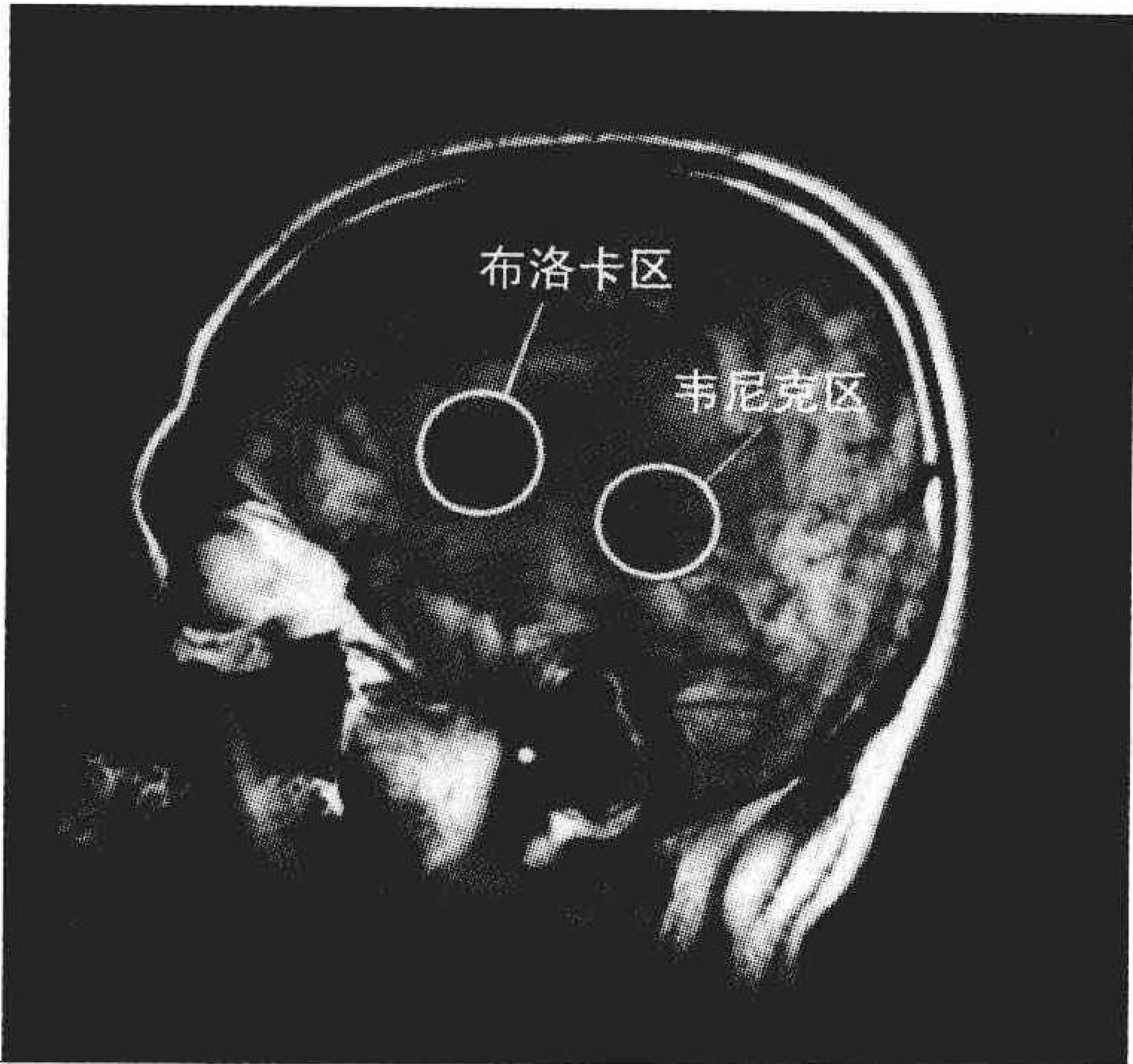
我们也找到了一些例子，可以表明婴儿脑惊人的可塑性。也许这其中最值得注意的是一个 1 岁大的婴儿，由于胎儿期的一场事故，相对于其年龄应具有的完整皮层而言，她只剩下一小部分皮层。数家大型医院只根据 MRI 数据就将她诊断为失明失聪，没有再作进一步的检查。然而她的父母认为，她在一定程度上可以看见物体。在他们的要求下，我们在医生的帮助下使用了光学成像技术来对她进行检测。结果表明，她残余的脑皮层真的被视觉刺激所激活了（Kogure et al.，1997）。

我们曾经使用光学成像来研究早期婴儿脑的功能性恢复，也发现了脑不可思议的可塑性。例如在内囊完全缺损的情况下发现了运动反应，在严重左半球损伤的情况下发现了语言反应，在几乎完全没有小脑的情况下出现了运动反应。通过这些例子与其他对婴儿脑可塑性的观察，我们最终提出了“开发脑”这样一个概念。

这一工作使得我们看到，开发脑的过程与康复（rehabilitation）是不同的，康复涉及的是对丧失功能的恢复（Koizumi，2000c）。

光学成像技术可以被用来安全地观察新生儿的脑活动。当然，这一点对 fMRI 和 MEG 来说是十分困难的，因为婴儿不喜欢在测量的时候保持一动不动。在法国，我们在事先得到了法国国家伦理委员会的认可后，与 Jacques Mehler 的小组合作研究了 5 天以内的新生儿。当然，在这些案例中，母语是法

172



运用光学成像的功能成像

运用磁共振成像的结构成像

左侧前额叶的布洛卡区

左侧颞叶的韦尼克区

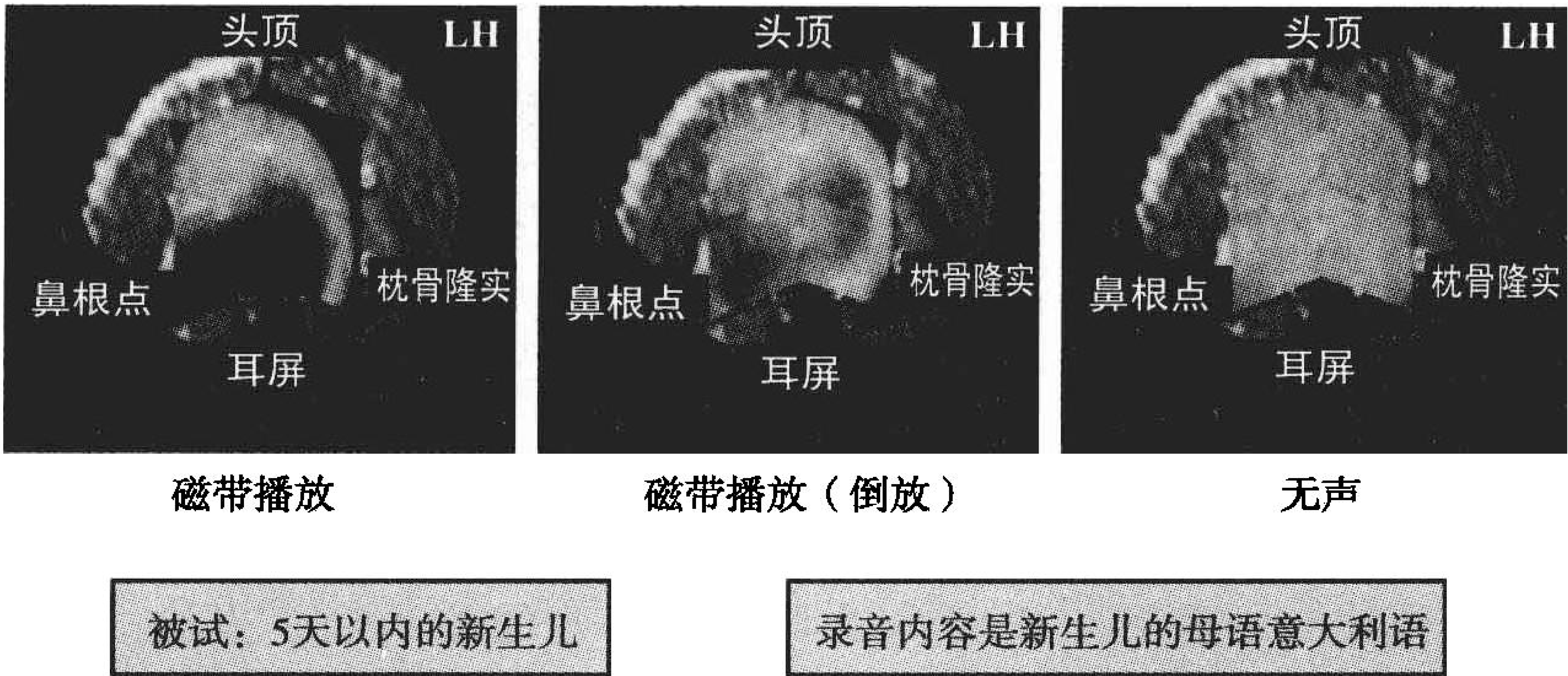
合作者：Iwata, M., et al., Tokyo Women's Medical University

图 10.3 语言区域的激活

语。新生儿接触到由一位新闻播报员朗读的法语。我们发现听觉皮层的活动在听到法语时比听到其他声音时要强。

这次研究中的很多工作人员也在意大利参与了一个新的研究小组，进行了更加精确的测量。研究的结果在近期刚刚发表（Pena et al.，2003）。被试仍然是5天以内的新生儿，只不过这次的母语变成了意大利语（参见图10.4）。听到意大利语的讲话相对于听到倒放的讲话或无声时引起了更强的激活。倒放的磁带无疑包含了相同的声音成分，例如频率与能谱，但却不包含任何可辨认的单词或语言。我们还发现，即使是新生儿，在对语言的反应中就已经显示出了左半球的偏侧化（另见 Petitto，本书）。

173



合作者：J. Mehler's group, International School for Advanced Studies (Italy), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* (2003)

图 10.4 新生儿听母语时对脑活动的影响

新生儿可能对母语的语调与节奏有所反应。另外，有两个假说都可以解释这些结果。一个是新生儿在胎儿期就已经学会了辨认母语。动态三维超声造影技术的实验已经证明，婴儿可以对穿过母体的声音作出反应。另一个假设是，新生儿可能拥有一种对自然语言产生特定反应的先天能力。我们计划继续此类实验，下一步的计划是对比母语与外语。这应该可以告诉我们哪一个假设是正确的。

情绪与智力

“脑科学与教育”这一概念除了可以应用于医学以及为发展与学习的问题提供答案以外，在解决社会问题上也有重要作用，从学习障碍到犯罪、儿童虐待等，甚至有可能为世界和平作出贡献。

人脑如何承载演化的历史

脑随着新的组织层次在脑干周围形成而演化。脑干维持着生命，边缘系统为我们提供生命的驱动力，而新脑皮层则给了我们控制生活、改善生活的能力。理性与知识与新脑皮层相关，而基础情绪则与边缘系统相联系。我们的生活与我们的社会是建立在边缘系统与新皮层之间微妙的平衡之上的。

174

爬行动物的后代在演化上分为两个分支。一个分支产生了人类，其过程历经兽孔目爬行动物（爬行—哺乳动物）、更晚近的猴子以及最终的类似原型黑猩猩的猿类。另一分支经由恐龙产生了鸟类。人类的边缘系统与新皮层相比兽孔目爬行动物来说有了长足的进化。然而，即使是与黑猩猩相比，虽然人类与黑猩猩的 DNA 碱基排列只有 1% 的差异，人类的前额叶皮层也要大一倍。前额叶皮层可以产生较深层次的情绪，例如爱与恨。

如何斩断仇恨的锁链

当今世界被仇恨的锁链所束缚着。如何斩断这些锁链是最严峻的问题之一。在这一点上，我想引用法然上人（日本净土宗创始人——译者注）的父亲漆间时国的话。漆间时国于 1141 年在一次敌人的夜袭中，当着自己 9 岁儿子的面被杀。在他临死之前，他对儿子说了下面的话：“我伤入肺腑，却仍拼命苟延残喘。而又有谁愿意轻易撒手人寰？稍加思考，你就知道你不应恨你的

敌人。你杀了敌人，他们的家人就会想杀你。这仇恨的链条永远不会消失。立即离开家，在你自己身上去寻找终极的答案吧。”多年以后，法然上人才得以释怀。对他来说，答案是继续称念慈悲之菩萨阿弥陀佛。

法然上人的父亲深刻地考虑到了他人的观点。这与“心理理论”紧密相关。从这个意义上来说，例如，物理理论是通过神经加工过程来预测一个飞行小球轨迹的能力；而“心理理论”则是指理解他人思想、预测他人想法与反应的能力。这种能力是在儿童3—4岁时通过充分交流而得到培养。既然“心理理论”的缺失使人无法理解他人观点，那么可以说这种缺失是多种社会问题的根源。

纵向研究与人类前额叶皮层发育

在“脑科学与教育”这一较为广泛的领域中，我们选择测量3—5岁儿童的前额叶来研究“心理理论”的发展。图10.5展示了一个例子，它测试了工作记忆的发展。即使孩子很小，光学成像仪也能轻易地提供工作记忆激活的图像。

175

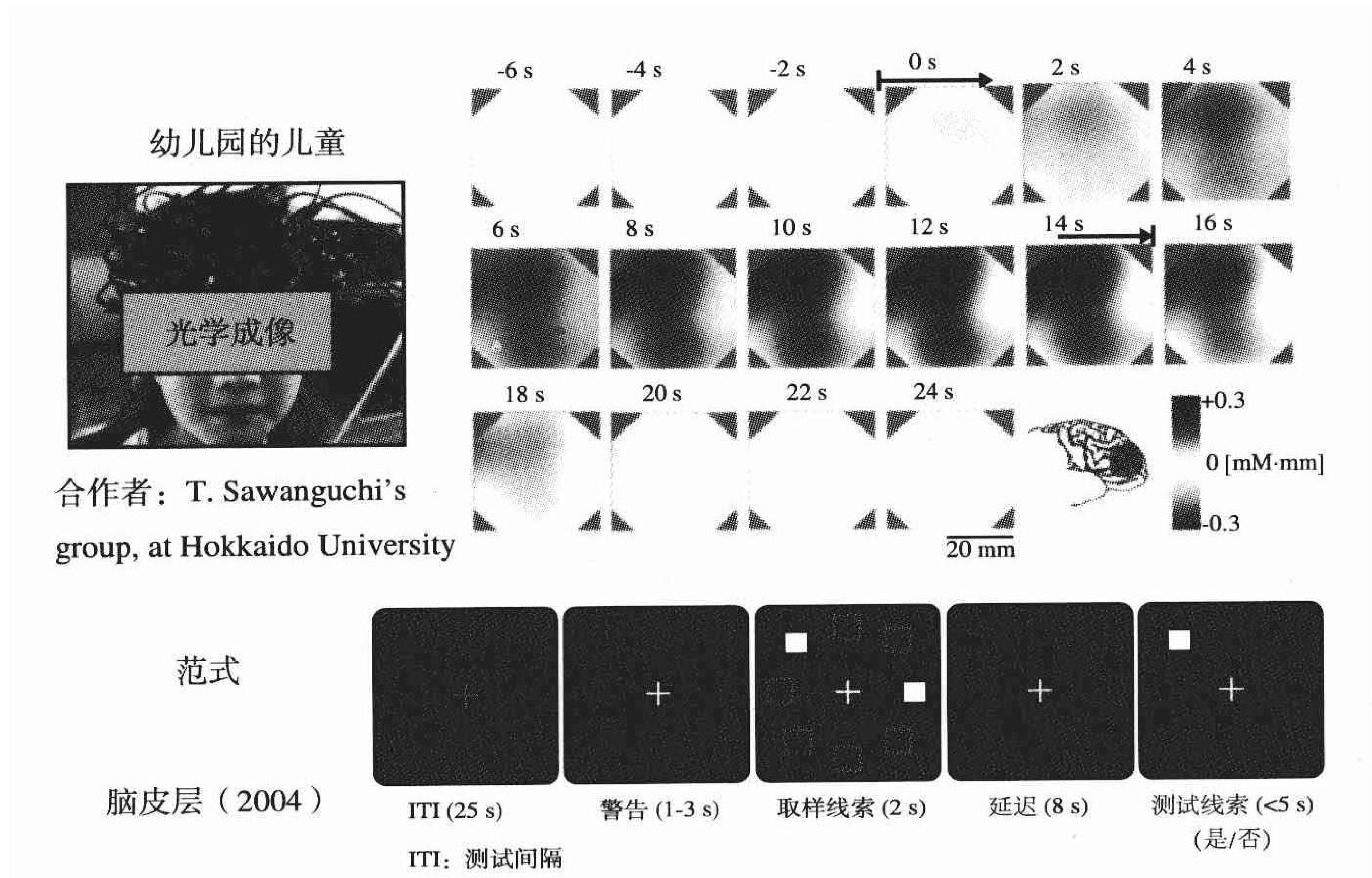


图10.5 儿童的工作记忆激活

新的脑科学研究技术所带来的伦理问题

基于脑的直接交流

光学成像技术为我们提供了直接观察脑活动的一种全新的交流形式。我们测试了一个锁死状态的肌萎缩侧索硬化（amyotrophic lateral sclerosis，ALS）患者。她的家人已经有两年多的时间没有办法与她沟通了。他们以为病人可能已经没有意识了，因为她已经在植物人状态下过了这么久。我们检测了各种脑活动，例如运动想象、听语言、词汇产生（想象中的）、听音乐以及工作记忆测验。每一种测验中光学成像技术都显示了脑的激活。我们由此证明病人显然具有意识。于是我们要求她在想说“是”的时候想象握右手，在想说“否”时什么也不想象。我们在她的答案是“是”的时候观察到对侧（左半球）运动区的激活（Heida et al.，2000）。

176

神经伦理学

上面的结果在伦理学上有着深远的影响。首先，我们至少找到了这样一个病人，在身体处于植物人状态时还被证明具有意识。甚至连很多医生都认为 ASL 患者在经历较长时间的锁死状态后会由于脑的荒废而丧失脑活动。这一新的发现反驳了无意识理论，迫使我们面对这样一个问题，即这类病人是否拥有人权？如果他们拥有，怎样保证这些权利。另外，它也提出了一些新的问题，例如应不应该以及如何给予病人通过脑活动所测出来的意志以法律效力。

神经伦理学将在不久的将来成为一个重要的研究领域（见 Vidal，本书）。因其可以用来窥视个人的思想，无创性脑功能成像技术将有可能被用于侵犯人们的隐私。例如，个人的好恶可以通过用 fMRI 测量杏仁核的活动来检测。因此，我们需要一种新型的神经伦理学，我们也将需要许多神经伦理委员会对其进行管理。我现在正努力在全国水平上建立一个神经伦理研究与监管系统。

21 世纪的脑科学与教育

支持脑功能的健康服务

在这里，我们考虑一下未来的信息技术将如何影响我们的生活。在诸如汽车与电梯这样的便利设施把我们的肌肉宠坏的同时，信息技术也有可能宠坏我们的脑。如图 10.6 所示，我们的工作记忆位于前额叶皮层（46 区），它在我们作心算的时候有强烈的激活，但在我们使用计算器计算时则没有激活。最近，神经科学已经告诉人们，这个工作记忆在人们回忆记忆中的事物时起着重要的作用。宠坏了的工作记忆可以导致一系列形式的健忘，甚至在青年人中也会出现（20—30 岁）。在信息技术为我们提供了越来越多可能性的今天，我们需要找到一些让我们的脑保持健康的方法。接受这样一个观点对于预防与治疗老年性痴呆也有重要意义。

日本的“脑科学与教育计划”

2000 年的时候，我组织了一个为期 4 天的跨学科论坛，题目是“开发脑：学习与教育的科学”，这一论坛是由日本科学技术振兴事业团（Japan Science and Technology Corporation）与日本科学技术振兴机构（Science and Technology Agency of Japan）联合赞助的。这一论坛举办于世纪交迭之前，既是作为几年来这方面工作的总结与积累，也是为了对在 21 世纪之初宣传科技发展及其效益这一事业作出贡献。论坛的结果是，“脑科学与教育”计划在 2001 年被列为全国性的计划。这是新一届日本文部科学省（MEXT）最早的旗舰式运动之一。自从这个计划开始以来我一直担任总管。目前我们在运行的一共有 12 个项目，这些项目的选择是根据对一项公开声明的反响来决定的。到目前为止，其成果非常有趣。

最后，我希望论述脑科学与教育在 21 世纪的重要性的最基本的原因。正如居里夫妇在其诺贝尔奖获奖感言中所说的那样：“科学与技术是中性的，因此它们被用于善途还是恶业完全取决于人性。”我相信教育应当比科技先行一步。在由“开发脑”和“脑科学与教育”所定义的领域中，基于实证的研究工作至少会为我们提供一些在 21 世纪中更能保障人类安全与繁荣的关键线索。

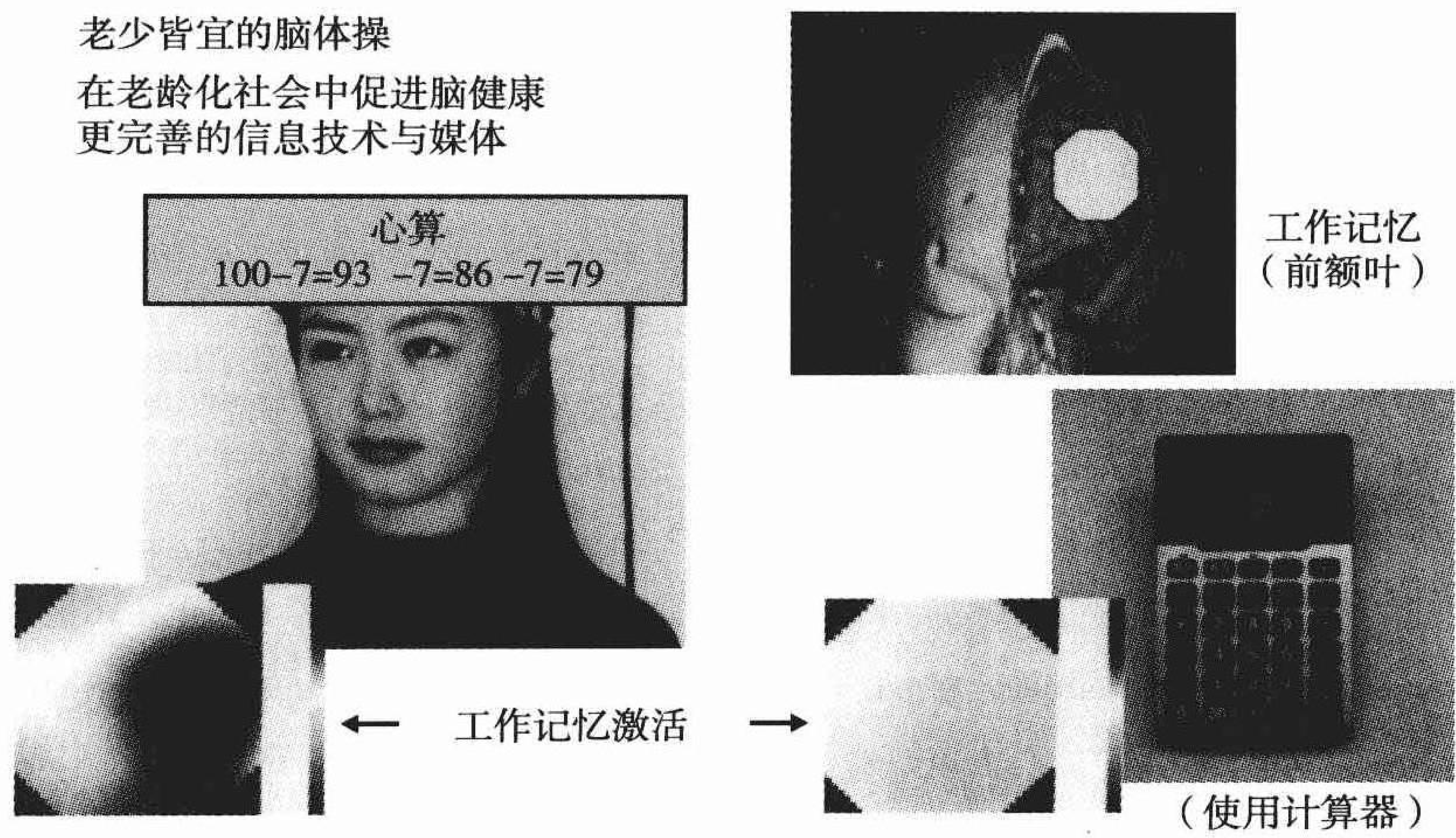


图 10.6　心算过程中前额叶皮层的激活

致谢

在此笔者对梵蒂冈教皇科学院以及本论文集的组织者们，特别是 Antonio M. Battro 教授、Kurt W. Fischer 教授和 Pierre Lena 教授致以诚挚的谢意，感谢他们给我这个难得的机会。

参考文献

Brenner, D., Lipton, J., and Williamson, S. J. (1978). Somatically evoked magnetic fields, of the human brain. *Science*, 199, 81–83.

Britten, R. J. and Davidson, E. H. (1969). Gene regulation for higher cells: A theory. *Science*, 165, 349–357.

Flechsig, P. (1898). Neue Untresuchungen uber die Markbildung in den menschlichen Grosshimlappen. *Neurol.* Centribit, 17, 977–996 ("A new understanding of myelination in the human cerebral cortex").

Goodall, J. (2001). Private communication.

Haida, M., Shinohara, Y., Ito, Y., Yamamoto, T., Kawaguchi, F., and Koizumi, H. (2000). Brain function of an ALS patient in complete locked-in state by using optical topography. *Search for Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications* (Koizumi, H., ed.), 95–97, Hitachi Ltd., Tokyo.

Hess, E. H. (1959). Imprinting: An effect of early experience, imprinting determines later social behavior in animals. *Science*, 130, 133–141.

Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, 28, 517–527.

Ito, Y., Kennan, R., Watanabe, E., and Koizumi, H. (2000). Assessment of heating effects in skin during continuous wave near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 5, 383–390.

Kant, I. (1803). *Uber Pädagogik*, Herausgegeben von D. Friedrich Theodor Rink (Immanuel Kants Werke, Herausgegeben von Ernst Cassirer, *Band VIII* (1992)).

Kennan, R. P., Horovitz, S. G., Maki, A., Yamashita, Y., Koizumi, H., and Gore, J. C. (2002). Simultaneous recording of event-related auditory oddball response using transcranial near-infrared optical topography and surface EEG. *Neuroimage*, 16, 587–592.

Kogure, K., Yamashita, Y., Maki, A., Itagaki, H., Izumiyama, M., and Koizumi, H. (1997). Functional near-infrared spectrography (fNIR) in the neurology ward. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 17 (S1) S555.

Koizumi, H. ed. (1995). *Search for a Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its practical Applications*, Hitachi Ltd., Tokyo.

Koizumi, H. (1996a). A trans-disciplinary approach through analytical science towards global sustainability and human well-being, *The Trans-disciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., ed.), 3–10, Japan Science and Technology Co., Tokyo.

(1996b). The importance of considering the brain in environmental science, *The Trans-disciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., ed.), 128–132, Japan Science and Technology Co., Tokyo.

(1999a). A practical approach to trans-disciplinary studies for the 21st century. *Journal of Seizon and Life Science*, 9B, 5–24.

Koizumi, H., Yamashita, Y., Maki, A., Yamamoto, T., Ito, Y., Itagaki H., and Kennan, R. (1999b). Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic NIRS imaging. *Journal of Biomedical Optics*, 4, front cover & 403–413.

Koizumi, H. (2000a). Trans-disciplinarity, *Search for Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications, Part II* (Koizumi, H., ed.), 220–222, Hitachi Ltd., Tokyo.

(2000b). The concept of "Developing the Brain": A natural science for learning and education" *The Trans-disciplinary, Symposium on the Frontier of Mind Brain Science and Its Practical Applications, Part II* (H. Koizumi, ed.). 217–219, Hitachi Ltd., Tokyo.

(2000c). Developing the brain: a natural science for learning and education: *The Trans-*

disciplinary Forum on "Developing the Brain": The Science of Learning and Education (Koizumi, H., ed.), Japan Science and Technology Co., Tokyo.

(2001). Trans-disciplinarity, *Neuro-endocrinology Letters*, 22, 219–221.

Koizumi, H., Yamamoto, T., Maki, A., Yamashita, Y., Sato, H., Kawaguchi, H., and Ichikawa, N. (2003a). Optical topography: Novel applications and practical problems. *Applied Optics*, 42, 3054–3062.

Koizumi, H. (2003b). The concept of developing the brain, a natural science for learning and education, *Learning Therapy* (Kawashima, R. and Koizumi, H., eds.), 1–14, Tohoku University Press, Sendai.

(2004a). Searching for a new science of humanity. *Trends in Science* (*Gakujyutsu-no-doko: The Journal of the Science Council of Japan*), 2, 32–45, Japan Science Support Foundation, Tokyo. (in Japanese).

(2004b). The concept of "Developing the Brain": A new natural science for learning and education, *Brain & Development*, 26, 434–441.

Lishman, W. A., Teets, T. L., Duff, J., Sladen, W. J. L., Shire, G. G., Goolsby, K., Bezner Kerr, W. A., and Urbanek, R. P. (1997). A reintroduction technique for migratory birds: Leading Canada geese and isolation-reared sandhill cranes with ultralight aircraft. *Proc. North Am. Crane Workshop*, 7, 114–122.

Maki, A., Yamashita, Y., Ito, Y., Watanabe, E., Mayanagi, Y., and Koizumi, H. (1995). Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography. *Medical Physics*, 22, 1997–2005.

Matsuzawa, T. (2003). Private communication.

Ogawa, S., Tank, D. W., Menon, R., Ellermann, J. M., Kim, S. G., Merkle, H., and Ugurbil, K. (1992). Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 5951–5955.

Pena, M., Maki, A., Kovacic, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., and Mehler, J. (2003). Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 11702–11705.

Rothschild, E. (1996). Environmental measurement, *The Trans-disciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., ed.). 11–21, Japan Science and Tecnnology Co., Tokyo.

Sagan, C. (1977). *The dragons of eden: speculation on the evolution of human intelligence*, Random House: New York.

Striker, M. P., Sherk, H., Lenventhal. A. G. and Hirsch, H. V. B. (1978). Physiological con-

sequences for the cat's visual cortex of effectively restricting early visual experience with oriented contours. *Journal of Neurophysiology*, 41, 896-909.

Taga, G., Asakawa, K., Maki, A., Konishi, Y., and Koizumi, H. (2003). Brain imaging in awake infants by near-infrared optical topography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 100, 10722-10727.

Tsujimoto, S., Yamamoto, T., Kawaguchi, H., Koizumi, H., and Sawaguchi, T. (2004). Prefrontal cortical activation associated with visuospatial working memory in adults and preschool children: An event-related optical topography study. *Cerebral Cortex*, 14, 703-712.

Yamamoto, T., Yamashita, Y., Yoshizawa, H., Maki, A., I wata, M., Watanabe, E., and Koizumi, H. (1999). Non-invasive measurement of language function by using optical topography. *SPIE* (*Journal of the International Society for Optical Engineering*), 3597, 230-237.

Yamamoto, E., Takahashi, T., Takiguchi, K., Onodera, Y., Itagaki, H., and Koizumi, H. (1992). Noninvasive brain functional analysis by using ultrafast magnetic resonance imaging. *Imaging and Information Technology*, 24, front cover and 1466-1467.

Yamashita, Y., Maki, A., and Koizumi, H. (1996). Near-infrared topographic measurement system: Imaging of absorbers localized in a scattering medium. *Review of Scientific Instruments*, 67, 730-732.

第三部分

脑、语言与数学

第十一章

阅读与脑之三位一体观：进化、发展、病理研究及干预

Maryanne Wolf

概述

人脑最卓越的特性是能够通过已有神经元结构的重组来建立新的神经联结，形成新的神经网络。正如Dehaene在第十四章中所述，为了创造和掌握新的认知技能，如书写和阅读，人类需要依赖生物进化所产生的皮层、亚皮层及小脑等脑结构。人类这一物种花费了数千年的时间才掌握了一般的书写能力；如今一个儿童却只需要不到10年的训练时间就能够流畅阅读。神经系统这一卓越的成就需要知觉、注意、运动、言语及认知成分迅速地协同合作。这些复杂的成分内部或彼此之间出现任何问题都会导致阅读习得过程受损或迟滞，如发展性阅读障碍。Wolf与同事成功地研发了一套干预方案，该方案包括多个部分［RAVE-O：提取（Retrieval）、自动化（Automaticity）、词汇（Vocabulary）、语言交流（Engagement with language）、正字法（Orthography）］，用以提高阅读的流畅性。该方案包含的训练成分都是基于对精细而复杂的阅读过程所作的研究。

——编者

在近代人类进化历程中，智力演变的关键并非产生新的脑结构，而是人脑中已有的神经通路能够进行重组的惊人潜能。人类能够掌握所学的每一种新技

能，是由于人脑结构虽然最初被用来完成其他的一些事情，但是这些脑结构之间能够进行重组并建立全新的联结与回路，例如，看到某一视觉模式，提取某一掠食者的名称，推断某一脚印预示着危险。人脑本身能够建立新的联结，这一杰出的能力是人类多数认知飞跃与发明创造的神经基础（参见 Dehaene & Singer，本书）。

184 最好的证据莫过于书面语的发展历史及儿童书面语的发展过程。阅读或书面语代表了人类认知进化的主要突破之一。阅读的生理基础及其发展过程都反映并再次证实了脑内在固有的能力——重组的能力以及学会使用遗传天赋并加以超越的能力。关于阅读发展及阅读异常原因的研究为认知神经科学家提供了最好的例证，使其能够了解脑如何通过较古老的神经结构的重组来学习进化晚期才出现的认知技能。

本章还会介绍一个研究课题。该课题的证据来自阅读的进化、发展及病理学的研究，目的是对阅读及发展性阅读障碍的阅读受损方面的概念进行拓展。阅读过程的三位一体观最重要的启示之一，是它为阅读障碍儿童的矫治提供了一种新的更为综合的方法。本章的最终目标是要展示关于阅读的进化、发展和病理学方面的认识如何为矫治提供信息，以及它能对我们了解脑学习过程作出怎样的贡献。

关于阅读的独特观点

没有人生来就会阅读。人类天生就能完成许多活动，包括学会说话，以及通过一系列高度复杂的操作使该物种得以生存和繁衍。但是学习阅读并非我们与生俱来的能力。相反，阅读是人脑通过自身重组学习新事物的奇迹。实质上，阅读是以负责注意、知觉、言语、认知及运动操作功能的皮层、亚皮层组织及小脑等脑区中已有神经元通路的重组为基础的。上述所有这些加工过程最初并不负责阅读功能。但是人脑却能够在这些加工过程之间建立新的联结，这种能力正是阅读的生理基础。

因此，正如 Dehaene 所说，阅读的脑结构基础是“神经元的再利用”（neuronal recycling）的出色例证（参见 Dehaene 本书中的章节）。当人类第一次用抽象的视觉符号来代表一个物体时，比如画壁画时，他们实质上就是在负责视觉和概念加工过程的已有神经回路或通路之间建立起新的联结。随着符号象征能力的提高（Dehaene，2001），人类还学会了将这些区域与负责言语加工过程的区域相连接。在这一系列连接的基础上，一种新的能力出现了：阅读

以及传播书面形式的语言，以使其世代相传。

185

文字进化史的启示

第一批符号系统（First logographic system）

文字进化的早期历史始于异域国家如苏美尔（Sumeria），瓦迪耶尔霍尔（Wadi el Hol）（埃及开罗附近的地方，在这里发现了最早的字母，即 1998 年发现的著名的 Kahun 木刻——译者注）及克利特岛（Crete）。这个充满空白和神秘的故事可以有很多讲法。这一小节简要介绍“认知历史”，我们将探讨从刻在坚硬泥板上的微小符号开始，每一种早期文字形式对我们的脑都有不同的要求。

早期的符号是刻在黏土块上的微小记号，它们全部都在近东地区发现，大约在公元前 8000 年至公元前 4000 年间使用。我们的祖先将其当作一种计算系统。有一些研究者，比如 Schmandt-Besserat（1996）认为这些符号就是最早的文字，或者至少是文字的前身。然而它们是概念化的，这些记号连同壁画代表了已知的对符号的最早使用。这些符号为我们的祖先写下了永久的记录，这样，他们就可以记录买卖货物的数量。更重要的是，这些符号的发明反映出人类已经具有了一种新的认知功能：符号表征的能力（参见 Deacon 的重要著作，2001）。

符号象征行为是早期文字系统中阅读发展的三个标志中最早的一个。第二个标志是，符号系统能够跨越时间和距离进行交流，并且能够将某个人的思想或某种文化保存下来。从楔形文字与象形文字开始，早期的文字系统都反映了这两个属性。第三个标志是，语言上出现了最抽象和复杂的概念，而且各文字系统之间并不统一。我们口语中的每一个词都是由单个声音的有限组合所构成的［语言学家称其为音素（phonemes）］，而它们又对应着单个字母的有限组合［称为形素（graphemes）］。世界上拼音文字系统都是基于这一原则，一般称作拼音文字的规则（**alphabetic principle**）。从最早知道的楔形文字和象形文字系统转变到最早被广泛接受的类拼音文字（alphabetic-like）系统大约花了 2 000 年的时间，这种类拼音文字由乌加里特人在公元前 2000 年的后半叶创造。

苏美尔楔形文字被认为是最早出现的能被理解的文字系统，大约创造于公　186

元前3100年。然而，这一假说却受到埃及古物学者（egyptologist）的挑战。他们最近发现的证据证明埃及的象形文字要比楔形文字早几个世纪。无论哪一种文字在技术上首先出现，这两种早期文字系统都对阅读的初学者及熟练者提出了很高的要求，尤其是每一种文化都随时间发展出了庞大的符号体系。从认知的观点看，这些系统具有三个主要特征：第一，使用表征性的符号来传达大量已知的概念和词语；第二，就像猜字画谜的原则，用一个旧有符号的最初读音来描述一个新词的读音（比如一个名称）；第三，右行—左行交互式书写（boustrephon）[或耕地（plowing）] 方向的格式。因此读者在浏览正文时首先由左至右，然后到下一行又从右到左。按照这种结构模式，埃及或苏美尔阅读者在阅读专栏时需要不断地向上看、向下看。换言之，这些早期的文字系统都需要很多种认知策略和浏览方式，同时还需要读者有很高的灵活性。早期的阅读令人望而生畏。

诚然，苏美尔教育系统通常要花费10年的时间才能让一个阅读的初学者变得训练有素。根据亚述专家（Assyriologist）Cohen（2003）的现代学术观点，苏美尔教育系统对语言有着非凡的见解。例如，苏美尔人通过列出单词的演化过程来教授儿童，这种方式是根据任何语言学标准都能作出的合理分类。有的单词具有共同的语义或基于意义的特征；其他一些单词具有相同的语音特征；还有一些单词共享同样的词根（对应于我们的词形和正字法规则）。后来又增加了双语列表。结果是在语言分类思想尚未出现之前，苏美尔人在教授阅读时就已经能够教授书面单词中存在的各种语言要素，并能清楚地告诉学生那些通过特定方式可以被分到同一类别中的单词之间所共有的联系了。这足以让20世纪和21世纪的教育者感到惭愧，他们通常拘泥于一维的阅读教学方法（例如，基于语音的读音教学法或是基于语义的整体语言教学法）。而在4000年前，苏美尔人祖先就已经使用各种各样的分类列表向他们的学生展示单词的多维特性。同样，在苏美尔文化消失之后，广泛传播的阿卡得语文字系统保留了苏美尔语言体系的许多有见地之处。在本章末尾，将会介绍一种非常新颖的、富有创新性的阅读教学方法，该方法使用多维途径来教授单词，这与苏美尔人的许多真知灼见都十分相似。

187 拼音文字的出现

埃及象形文字系统的历史充满了神秘的色彩，但是有一点对于理解人类阅读发展的第三个标志以及拼音文字的诞生尤为重要。正如苏美尔语那样，学会

阅读象形文字也是一项认知成就。但是与苏美尔语不同的是，随着时间的推移，象形文字内部的语义不断深入，该文字系统也变得更加庞大且负荷更重。

不知道何时或者为什么，又出现了一个较小的符号子集，它被用来传达口语中非常有限的语音，或许最初是为了减轻象形文字的负担。有一个假说认为，在埃及境内外工作的闪语族抄写员使用这些符号以实现在不允许学习象形文字的工人之间传达指令。不论这种“下层工人速记”（proletariat shorthand）假设是否被证实，许多语言学家都相信这很小的一部分基于语音的符号也许就是第一批原始闪语族的类拼音手迹的基础。最近在埃及荒无人烟的瓦迪耶尔霍尔地区发现了这些早期的手迹，它们在公元前 2000 年开始被使用（公元前 1800 年左右），并且通常认为它们影响了后来漂亮的乌加里特语文字（公元前 1400 年）的发展。我们后面所说的这种闪语族文字形式被认为是一种母音附标文字（abugida）[自带元音的辅音式字母，辅音字母预设带着/a/母音，如〈m〉可以同时表示/ma/或/m/]，这一类拼音体系包含辅音以外的所有发音。这种语言被应用于各个领域之中，从优雅的信件与诗歌到正式文件中都使用。事实上，有些人认为圣经最早就是用乌加里特语写成的。

然而，关于这些早期的原始闪语族语系统是否能被认为是最早的拼音文字方面，语言学家、亚述研究者以及古典学者存在着尖锐的分歧。毋庸置疑，在公元前 1000 年晚期的时候，希腊人“重新整理”（rearranged）了他们所知道的邻国腓尼基文字体系，并创造了一种几近完美的拼音文字，它能够代表希腊语中所有的音素（辅音和元音）。这是一项非凡的成就。希腊人分析了腓尼基语和希腊口语中所有的音素，以建立一种拼音文字来表达他们语言中的每一个读音。因此，即使不是最早的，他们也是世界上最优秀的语言学家。

从进化到儿童阅读的发展

现代教育者通常无法意识到的是，希腊人的巨大功绩背后的基本认知观念也恰恰是儿童在学会阅读前所必须领会的。起码他们要学会三个类似的概念：首先是符号表征；其次是认识到一系列符号能够代表单词；最后（这也是最困难和抽象的认识），单词由分离的语音构成，而且字母在书写中与这些语音相对应。儿童只需 6—7 年的时间就能发现、理解并证明他们在掌握人类花费了数千年的时间才获得的认识能力！

多数人都没有意识到，这些关于阅读的观念绝不仅仅发生在儿童时期。实际上，儿童阅读技能的获得和发展代表了他们能够全面掌握几百个单词、数千

188

个概念以及数以十万计的感知片段，所有这一切都促进了语言的发展，这一认知过程对人脑的要求甚高。其中任何一点都不是理所当然地发生的。在 Teale 和 Sulzby（1986）的一项著名研究中，他们对比了儿童进幼儿园时所具有的“阅读背景”，发现有些家境较差的儿童在最初的 5 年里只接触了大约 60 小时的“阅读”材料。相比之下，多数中产阶级家庭的儿童则接受了相当于数千小时的读写训练。Hart 与 Risley（2003）年的研究同样表明，来自不同社会经济背景的儿童，当他们 3 岁时，他们在家庭中所接触的单词数量的差距就已经出现了“3000 万单词的缺口”。根据本文所支持的阅读观点，阅读的这些先决条件不仅会影响阅读的习得，还会影响它的整个发展过程。当儿童习得了阅读的基本解码规则之后，为什么它们还会对后面的发展有影响呢?

让我们来想象一下儿童要阅读简单的单词“猫”（cat）（详情参见 Wolf 等，2001 的文章）以及“大灾难”（catastrophe）都需要什么条件。阅读过程需要包括注意、记忆、视觉、正字法规则识别、听觉、语音、语义、提取以及理解等加工过程的参与。这一系列加工过程都必须于数毫秒之内完成整合以实现对单个单词的阅读，其中每一个加工过程都必须准确而迅速地进行。在这里有几个差别很大但密切相关的要点需要说明。第一点，关于认知和语言加工过程的观点表明多个语言加工过程的重要性，包括语义、句法及理解过程，同时还包括与解码相关的过程。儿童要发展成为流畅的、有理解能力的文本分析者，他们就必须在更深入和更复杂的水平上掌握单词，同时还要发展解码技能。儿童最初几年认知和语言发展为他们后来的发展奠定了基础。早期发展不足的儿童后天并非完全无法弥补，但真正能够迎头赶上的也不多见。那无形的“3000 万单词的缺口”以及它所隐含的差距的长期作用，阻碍了儿童原本能够获得的阅读能力的发展。

189

第二点，让我们再回到阅读与脑的关系上。注意、知觉、认知及言语，所有这些过程都依赖于发展中的脑各个脑区的复杂重组。这些重组过程无法单纯依靠基因程序来实现。这一过程能否实现，取决于社会（即教育者）和个人学习两个方面。语言学家 Steven Pinker 说得好：“儿童生来就能发音，但是书写是一种必须付出艰辛的努力才能获得的选择性附属品。”

事实上，阅读的发展正是包含了他所说的这种艰难的获取与整合过程。许多学习者由于早期有良好的阅读经验，“似乎”不用花费多大力气就能学会阅读。而另一些学习者，有的由于环境原因，有的由于负责阅读的脑区生理上的异常，导致他们在阅读习得中遇到很大的困难。对于这一庞大的群体，我们需要对其阅读的各种加工过程进行系统、明确地指导。

关于阅读的这种独特的观点给我们一个重要启示：阅读所包括的多种成分可能会导致多种来源的损伤。如果情况如此，那么导致儿童阅读困难的不同原因就会存在各种亚类型，这一结论将与过去30年来对阅读障碍的一贯看法背道而驰。传统观点根据心理语言学家20世纪70年代的开创性研究，认为阅读障碍的主要原因是儿童学习和应用形音对应规则（grapheme-phoneme correspondence rules）的能力有缺陷。根据这种一维的观点，语音加工过程的缺陷阻碍了儿童发展语音意识的能力，这又阻碍了学习形音对应规则的能力，进一步又阻碍了儿童学习解码和理解的能力。我们认为，这种语音缺陷的解释是必要的，但同时又是不充分的。

随着神经科学关于失读症、失语症及阅读障碍者的单词提取和命名速度方面研究的开展，出现了另外一种观点，认为阅读障碍者可能还具有其他方面的缺陷，尤其是快速自动加工过程存在缺陷，这种缺陷独立于语音加工过程而且不能用语音缺陷来解释。

亚类型分类：双重缺陷假设

190

双重缺陷假设（The double-deficit hypothesis）最早由Browns与Wolf（1993）提出，研究者试图解释阅读障碍者存在的异质性。双重缺陷假设强调阅读障碍儿童至少存在三种主要的亚类型，这三种亚类型以是否具有语音缺陷和命名速度缺陷这两种核心缺陷或者两种缺陷的结合为特征。目前，有相当多的证据（Lovett, Steinback, & Frijters, 2000a; Manis, Doi, & Bhadha, 2000; Badian, 1996; Ho, Chan, Tsang, & Lee, 2002）表明：（a）有些阅读困难者虽然有语音缺陷，但是命名速度方面没有问题；（b）有些阅读者语音和词义理解技能正常，但是他们的早期命名速度有缺陷，后来阅读流畅性及理解方面也有缺陷（注：多数诊断标准都无法将这些儿童筛查出来，因为他们的解码技能完好）；（c）两方面都有缺陷或"双重缺陷"的儿童，他们具有两方面的核心缺陷，因此代表了最严重的损伤亚类型，因为能起补偿作用的脑区不多，尤其是在阅读流畅性和理解力方面。

Wolf与Bowers（1999, 2000）将双重缺陷假设这一提法作为一种公认的过渡性中介，以此强调打破过分注重语音缺陷体系的必要性。与语音缺陷不同，命名速度缺陷可能由各种原因导致。这是由于快速命名就像本文所支持的多成分阅读观点一样，被认为是知觉、认知、运动及言语等一系列过程内部和相互之间迅速地连续发生、实现整合。这些过程被认为是快速阅读中所需要的

成分的一个子集。这种观点揭示了命名速度在预测阅读困难和区分命名缺陷儿童方面有很强的能力。目前，德语、荷兰语、芬兰语及希伯来语中都有广泛的证据验证这些亚类型的存在；在汉语及日语中也已经发现了初步的证据。

因此，双重缺陷假设反映出研究者试图揭示阅读障碍的主要原因。但是这并不意味着只有这几种缺陷模式。我们和其他研究者的分析表明，有一小部分儿童并不属于这两种缺陷中的任何一种，但是他们仍然有严重的阅读障碍（参见 Lovett，Steinbach，& Frijters，2000）。双重缺陷假设强调，在我们的样本及班级中，这些主要的缺陷类型彼此之间是多么独立；这告诉我们，应该扩展目前干预方案的关注点。该假设最重要的启示是，多数有命名速度缺陷的儿童其阅读流畅性都有问题。目前大多数干预方案在很大程度上都集中在语音技能方面，这虽然有必要，但同时又是不够的。阅读障碍儿童需要额外进行以自动化和流畅性为重点的早期日常训练。

双重缺陷假设最重要的一点是，它强调我们一方面需要认识到加工速度和流畅性在阅读发展中的作用，另一方面还需要设计能够解决该问题的干预方案。直到现在，只有那些有单一语音缺陷的儿童被给予了恰当的干预训练，目前的干预方案都强调语音意识和解码技能。然而，另外两种亚类型在命名速度和阅读流畅性方面明显有问题，但是却从未得到充分的治疗矫正。本章最后一部分介绍了一种阅读成分干预方案（componential reading intervention program），该方案将语音训练与“流畅性和理解力”的新观点相整合。

191

基于成分的（component-based）阅读干预流畅性观点

流畅性观点的发展包含了 Hebb（1949）、Geschwind（1965）、Denckla 与 Rudel（1976），Laberge 与 Samuels（1974），Doehring（1976），以及 Perfetti（1985）以往研究中的关键要素，并且由 Wolf 与 Katzir-Cohen（2001）进行了详细的论述。第一，根据这一观点，流畅性需要正字法（orthographic）、语音（phonological）、语义（semantic）、句法（syntactic）等表征系统得到高质量的发展。第二，它需要这些系统之间能进行快速的连接。第三，它需要通过学习和练习来确保能从每个系统中迅速提取信息。最近关于流畅性的观点与过去的研究关联很小，关于流畅性的定义多数是将其看作准确解码的结果。最近两篇关于流畅性的出色的文献综述中，Meyer 与 Fleton（1999）以及 Meyer（2002）总结了关于流畅性的较为一致的观点——“能够进行迅速、流利、毫不费力及自动化的阅读，并且几乎不需要有意识地去注意阅读的机制，如解码等”。

这种关于流畅性的观点几乎没有反映出它丰富的次级加工过程。

我们认为根据流畅性的组成成分和各种水平的阅读次级技能来为其下定义是很有必要的：也就是，从字母、字母组合及单词水平到句子和段落水平。与Kame'enui、Simmons、Good及Harn（2001）一致，我们建议对流畅性的定义作彻底的转变。具体来说，就是除了将其看作一种结果，也将其定义为一种发展过程。Kame'enui和同事用一种更具发展性的方式来定义流畅性，他们将其定义为低水平的阅读技能（如语素意识）不断熟练的发展过程，也将其定义为高水平的加工过程和阅读技能（如理解准确性）不断熟练的结果。

192

Berninger及同事（Berninger, Abbot, Billingsley, & Nagy, 2001）用一种更宽泛、更系统的方法来研究流畅性，他们认为单词的词形知识在促进正字法规则和整体流畅性的发展方面有特殊的重要作用。

为了整合以往和现在关于流畅性的研究，Wolf与Katzir-Cohen（2001）提出了以下发展性的定义：

> 最初，阅读流畅性是亚词典加工、词典加工以及它们在单词阅读和文本阅读中整合起来的准确性的最初发展和自动化的后续发展的产物。这些过程既包括在字母、字母组合及单词水平上进行的知觉、语音、正字法和词形的加工；也包括在单词水平和文本水平进行的语义和句法加工。在充分发展之后，阅读流畅性是指准确性和速度的水平，此时解码毫不费力；朗读过程流利、准确，而且有正确的韵律；能够为理解过程分配注意。(p. 219)

我们认为，关于阅读流畅性的这种发展性的、更为全面的观点对预防、干预及评估都有深远的意义。因为，根据这种发展性的观点，要想研究流畅性就必须从阅读习得过程的开端开始，而不是在阅读已经习得之后。

在流畅性方面的问题发生之前进行预防性的工作是很重要的，这是Lyon与Moats（1997）的一个隐含的主题，他们指出了目前阅读干预研究的一些主要的关注点：

> 解码和单词阅读准确性方面的提高要比阅读流畅性和自动化方面的提高容易得多。这一发现表明，阅读技能成分的发展以及这些技能如何调节阅读速度和阅读理解方面，我们还需要了解很多的东西。(p. 570)

在本节中，Lyon与Moats（1997）不仅一针见血地指出了该领域中改善流畅性问题的困难所在，还指出了可能的解决办法，那就是，将流畅性发展中涉及的亚成分具体化。

正如前面简短的总结中所述，我们认为，过去有一些研究（从Hebb到

Perfetti 的研究）在得到当前研究的补充之后（如命名速度模型），就能为初步阐明流畅性所涉及的多种加工过程和成分提供合理的基础。这包括如下一些与流畅性有关的加工过程：字母感知；正字法表征；语音表征；语义表征；词汇通达与提取；解码和单词识别技能；词法、句法及韵律方面的知识；最后，还有推理和理解技能。换言之，以往及现在关于自动化和流畅性的研究表明，困难在于，阅读流畅性要求对阅读所涉及的所有主要的加工过程和亚技能（subskills）都进行明确的干预指导。这表明对于流畅性有问题的儿童，我们不能停留在理论定义和标准的表面之上，必须将我们关于阅读流畅性结构的认识应用到教学内容中。

193

基于流畅性的干预方案：RAVE-O

在国家儿童健康和人类发展研究所的资助下，我们设计并检验了一套实验性多成分的基于流畅性的教学干预方案。该方案是 Morris、Lovett 及 Wolf 等人合作研究的结果，他们用一种多维的观点研究阅读障碍，并且评估了基于不同理论的干预方案对特定阅读障碍儿童的干预效果。

RAVE-O 训练程序（Retreval，Automaticity，Vocabulary，Engagement with Language and Orthography）在别处有详细介绍（Wolf，Miller，& Donnelly，2000；Wolf，O'Brien，& Adams，2003），该程序为每个儿童设定了三大目标：第一，发展其在字母组合及单词水平上的准确性和自动化；第二，提高猜词（word attack）、单词识别和理解的速度；第三，实现对待单词和语言的态度的转变。为了达到这些目标，该程序既考虑到语音、正字法、语义、句法及词形系统的自动化的需要，同时也考虑到教会学生在这些语言系统间建立确切连接（explicit connectivity）的重要性。后一点部分地以强调在正字法、语义及语音加工过程之间建立确切连接的那些研究为基础（Adams，1990；Foorman，1994；Seidenberg & McClelland，1989）。此外，Berninger 等（2001），Adams（1990），及 Moats（2000）还强调词形句法知识和其他加工过程间的关系。

RAVE-O 训练程序必须与系统的语音分析与组合的训练程序相结合（参见 Lovett et al.，2000）。儿童每周都会被教授一组核心词汇（core words），这些词汇能够反映关键的语音、正字法及语义规则。最初的训练开始之后，将会逐渐加入句法和词形规则。所选的每一个核心词汇都是基于：（a）与语音训练程序有相同的音素；（b）顺序的正字法规则（orthographic pattern）；（c）语义丰富性（如，每一个核心词汇至少有三种不同的意思）。第一，核心词汇的多

种词义通过各种语境来介绍。第二，儿童要学会将核心词汇的音素与 RAVE-O 程序中训练的正字法规则联系起来。例如，在语音训练程序中教会儿童单个音素（像“a”，“t”，和“m”），在 RAVE-O 训练程序中教会相同音素的拼写组块（orthographic chunks）（如，“at”和“am”连同其单词家族；参见 Goswami 1999 的著作，及 Goswami 在本书中的论述）。

194

该程序强调将英语中最常用的拼写组合的练习和快速识别作为日常训练的重点。研究者设计的计算机化的游戏（参见 Speed Wizards, Wolf, & Goodman, 1996）以及一系列新的操作化材料（如字母骰子、语音滑块、卡片等）能够使儿童以一种参与的方式得到最大程度的练习，并能够提高正字法规则的识别速度。

词汇发展的早期研究表明，人们对最熟悉的单词提取最快（参见 Beck, Perfetti, & McKeown, 1982; German, 1992; Kame'enui, Dixon, & Carnine, 1987; Wolf & Segal, 1999），基于这些研究，该程序同时强调词汇量和提取。词汇量的增长被认为是快速提取（不论是在口语中还是在书面语中）和理解力提高的核心，它是干预方案的最终目标。提取技能可通过各种方法加以训练，包括一套元认知策略。

一系列理解性故事（如 *Minute Mysteries* 及 *Minute Adventures*）伴随着每周的 RAVE-O 训练以多种方式直接着眼于流畅性与理解力问题。限时与不限时故事中的受控词汇包括每周特定的正字法与词形规则，还强调每周核心词汇的多个词义和句法的使用。这些故事提供了一个极好的载体用以重复进行阅读练习，而这反过来又促进了阅读流畅性的发展。因此，微型故事（minute stories）是多目标的载体，它们既可以增强语音、正字法、句法及语义系统的流畅性，同时这也形成了理解力技能。据我们所知，流畅性是通往理解力的最佳桥梁。因此，RAVE-O 训练程序的最终目标不是要儿童能以多快的速度阅读，而是使他们可以理解以及享受阅读过程。

与 RAVE-O 训练程序中每一节日常训练的这一最终目标相联系的还有另外一个系统，它是许多研究者几乎没有探讨的——那就是情绪—动机系统。该训练程序的秘诀是，它的活动方案充满了游戏般的奇趣。我们希望儿童喜欢上阅读以及用口语和书面语进行游戏。我们力图为经常在语言方面受挫的儿童增添自信。

这种干预方法要求教师以一种特殊的方式参与其中。因此，在整个干预程序中，我们力求用尽可能多的方法，不仅让学习者参与，同时也吸引教师并倾注其对语言的热爱。我们的最终目标是建立一个教师和学生都能交互参与其中

的学习团体。

195 本研究通过多种方式有力地证明了 RAVE-O 训练程序在提高儿童的字母、单词及文本水平的阅读能力方面所具有的潜力。增长曲线分析的结果表明，RAVE-O 程序训练的儿童经过 70 次每次 1 小时的训练后，在许多方面都有显著的提高：包括所有的猜词、单词识别变量上，在词汇水平上，单词和句子水平的流畅性上，在文本水平关于流畅性和理解力的综合测量上也都有改进［Gray 诵读测验（the Gray Oral Reading Quotient measure）］。

总结

本章的主旨是脑具有通过自身重组学习新的认知功能的能力这一有力的进化论观点。我们通过两种途径来论述这一观点。第一，我们介绍了阅读与脑这一概念。在过去 5 000 年中人脑学会利用一系列最初被用来完成其他事情的脑区：对微小的视觉特征的感知；听觉和口语中最小的语音单元的分割；符号的理解；单词及其意义的提取；以及这些脑区之间以闪电般的、几乎自动化的速度实现整合。第二，我们将重组的概念运用到干预方案的设计中，并且展示了新的和旧的"最好的教育实践"的重构如何能够调动阅读所涉及的各种加工过程。RAVE-O 训练程序的最终目标是能够将这些加工过程快速地整合以实现准确解码和流畅的理解。第三，在结尾时我们要说，RAVE-O 训练程序的明确地描绘了单词的多维属性，而这正是 5 000 年前苏美尔人最早提出的那些原则的一次新的回归。

参考文献

Adams, M. j. (1990). *Beginning to Read: Thinking and Learning about Print.* Cambridge, MA: MIT Press.

Badian, N. (1996). *Dyslexia: does it exist? Dyslexia, garden-variety poor reading, and the Double-Deficit Hypothesis.* Paper presented at the Orton Dyslexia Society, Boston, MA.

Beck, I. L., Perfetti, C. A., and McKeown, M. G. (1982). Effects of long-term vocabulary instructions on lexical access and reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 74, 506-521.

Berninger, V. W., Abbott, R. D., Billingsley, F., and Nagy, W. (2001). Processes underlying timing and fluency of reading: Efficiency, automaticity, coordination, and morphological awareness. In M. Wolf(ed.), *Time, Fluency, and Dyslexia.* Timonium, MD: York Press.

Bowers, P. G. and Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing

mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing*, 5, 69-85.

Cohen, U. (2003). Personal correspondence.

Dehaene, S. (2003). *Pre-emption of human cortical circuits by numbers and language*: *The "neuronal" recycling hypothesis*. Paper presented at Pontifical Academy of Sinces meeting. Vatican City.

Deacon, T. (1997). *The Symbolic Species*: *The Co-evolution of Language and the Human Brain*. New York: W. W. Norton & Company.

Denckla, M. B. and Rudel, R. G. (1976). Naming of objects by dyslexic and other learning-disabled children. *Brain and Language*, 3, 1-15.

Doehring, D. G. (1976). *Acquisition of rapid reading responses*. Monograph of the Society for Research in Child Development. Vols. 165(2).

Foorman, B. R. (1994). Phonological and orthographic processing: Separate but equal? In V. W. Berninger(ed.), *The Varieties of Orthographic Knowledge I*: *Theoretical and Developmental Issues*(pp. 319-355). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

German, D. J. (1992). Word finding intervention for children and adolescents. *Topics in Learning Disorders*, 13, 33-50.

Geschwind, N. (1965). Disconnection syndrome in animals and man(Parts I, II). *Brain*, 88, 237-294, 585-644.

Goswami, U. (1999). Causal connections in beginning reading: the importance of rhyme. *Journal of Research in Reading*, 22, 217-240.

Hart, B. and Risley, T. R. (2003). The early catastrophe: The "30 million word ga" p. *American Educator*, 27(1), 4-9.

Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behaviour*. New York: John Wiley.

Ho Chan, D., Tsang, S.-M., and Lee, S.-H. (2002). The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental psychology. *Developmental Psychology*, 38, 543-553.

Kame'enui, E. J., Simmons, D. C., Good, R. H., and Harn, B. A. (2001). The use of fluency-based measures in early identification and evaluation of intervention efficacy in schools. In M. Wolf(ed.), *Time*, *Fluency*, *and Dyslexia*. Timonium, MD: York Press.

Kame'enui, E. J., Dixon, R. C., and Carnine, D. W. (1987). Issues in the design of vocabulary instruction. In M. G. McKeown and M. E. Curtis(eds.), *The Nature of Vocabulary Acquisition*(pp. 129-145). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

LaBerge, D. and Samuels, S. J. (1974). Toward a theory of automatic information processing in reading. *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.

Lovett, M. W., Steinbach, K. A., and Frijters, J. C. (2000). Remediating the core deficits of developmental reading disability: A double-deficit perspective. *Journal of Learning Disabilities*,

33(4), 334-358.

Lyon, G. R. and Moats, L. C. (1997). Critical conceptual and methodological considerations in reading intervention research. *Journal of Learning Disabilities*, 30, 578-588.

Manis, F. R., Doi, L. M., and Bhadha, B. (2000). Naming speed, phonological awareness, and orthographic knowledge in second graders. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 325-333.

Meyer, M. S. and Felton, R. H. (1999). Repeated reading to enhance fluency: Old approaches and new directions. *Annals of Dyslexia*, 49, 283-306.

Moats, L. (2000). *Speech to Print: Language Essentials for Teachers.* Baltimore: Paul H. Brookes Publishing Company.

Morris, R., Lovett, M., and Wolf, M. (1996). *Treatment of developmental reading disabilities.* NICHD grant proposal.

Perfetti, C. A. (1985). *Reading Ability.* New York: Oxford Press.

Schmandt-Besserat, D. (1992). *Before Writing: From Counting to Cuneiform.* College Station, TX: Texas University Press.

Seidenberg, M. and McCelland, J. (1989). A distributed developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, 96, 35-49.

Teale, W. and Sulzby, E. (eds.). (1986). *Emergent Literacy: Writing and Reading.* Norwood, NJ: Ablex, Co.

Wolf, M., O'Brien, B., Adams, K., Joffe, T., Jeffrey, J., Lovett, M., and Morris, R. (2003). Working for time: Reflections on naming speed, reading fluency, and intervention. In B. Foorman (ed.). *Preventin and Remediating Reading Difficulties: Bringing Science to Scale.* Timonium, MD: York Press.

Wolf, M. and Katzir-Cohen, T. (2001). Reading fluency and its intervention. Scientific Studies of Reading(*Special Issue on Fluency.* Editors: E. Kame'enui and D. Simmons), 5, 211-238.

Wolf, M., Miller, L., and Donnelly, K. (2000). Retrieval, Automaticity, Vocabulary Elaboration, Orthography (RAVE-O): A comprehensive fluency-based reading intervention program. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 375-386.

Wolf, M. and Bowers, P. (2000). The question of naming-speed deficits in developmental reading disabilities: An introduction to the Double-Deficit Hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, 33, 322-324.

(1999). The "Double-Deficit Hypothesis" for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 1-24.

Wolf, M. and Segal, D. (1999). Retrieval-rate, accuracy and vocabulary elaboration (RAVE) in reading-impaired children: A pilot intervention program. *Dyslexia*, 5, 1-27.

Wolf, M. and Goodman, G. (1996). Speed Wizards: Computerized games for the teaching of reading fluency. Tufts University and Rochester Institute of Technology.

第十二章

198

阅读与脑：跨语言研究

Usha Goswami

概述

阅读技能的学习与语言本身的某些属性密切相关。浅层或一致性拼音文字，如西班牙语，由于字母到音素的对应是一对一的，因此由拼写到读音的映射最简单。不一致性正字法语言，比如英语，拼写与读音之间则表现出较大的不匹配性。前阅读阶段的儿童能够在其口语词汇的音节中侦查出较小的单元，这些单元由首音和韵脚（onset and rime）组成。将语音分析成这些成分是语音意识的关键，即将语音分析为语音成分的能力。拼音文字中的阅读需要将字母与语音单元相连，这些单元比首音和韵脚更小，称为音素（phonemes）。Goswami 认为，儿童通过掌握其语言的正字法规则（字母组合）来学习音素。对于不一致性正字法语言，即使没有阅读障碍，儿童要掌握将单词的书面形式编码为口头读音也需要花费更多的时间。所有语言的阅读障碍儿童在学习形音对应关系时都会遇到更大的困难，这通常是由于他们语音表征能力差而造成的，对于这部分儿童可以从行为与脑成像两方面进行研究。由语音和其他刺激所诱发的皮层活动电位表明，与正常儿童相比，阅读障碍儿童的听觉系统似乎更不成熟。不久的将来，这种将行为与脑活动相结合从而对阅读加以分析的研究将最有可能成为为学校教育产生重要知识的领域之一。

——编者

199 认知发展心理学中大量跨语言研究表明，儿童单词发音的意识——“语音意识”（phonological awareness）——与阅读及拼写发展之间存在因果关系（参见 Goswami，2003a，概述及本卷中 Wolf 的文章）。研究还表明，语音意识的发展遵循一种语言普遍性（language-universal）的顺序。儿童似乎最早发展出对音节的意识（“pop-si-cle”，“wig-wam”，“soap”）。然后发展出对首音和韵脚的音节内单元的意识（首音对应任意音节中开始的辅音，韵脚对应元音及随后的任何读音，如在“s-eat”，“sw-eet”，“str-eet”中）。对于前阅读者，可以测量他们在音节及首音—韵脚水平的语音敏感性，这是读写技能的一个重要的预测指标（例如，Bradley & Bryant，1983；Hoien，Lundberg，Stanovich，& Bjaalid，1995；Siok & Fletcher，2001）。

语音意识及跨语言的阅读学习

早期语音意识集中在像音节和韵脚这样“较大”的单元。音节意识通常在 3 岁左右出现，首音—韵脚意识大约在 4—5 岁时出现。目前已经研究过的语言中，音节、首音及韵脚的意识在阅读教学之前就出现了。字母代表了单词中更小的语音单元，被称为音素。音素是语音流（speech stream）中的抽象单元，它根据单词意义的改变来定义。单词“cot”与“cat”中间的音素不同，单词“cot”与“hot”起始的音素不同。读写的学习带来音素意识的发展。实际上，文盲没有音素意识。字母的学习似乎引起了心理词典中基于音素（phoneme-based）的重组（参见 Goswami，2002）。这意味着阅读的学习不能被认为是将某人词汇中的单词口头分割为音素，进而将字母与音素匹配的过程。相反，儿童通过字母来学习音素。

200 许多研究发现前阅读者的音素意识较差。例如，敲击任务可以用来对比儿童的音节和音素意识。儿童必须敲击出单词中语音的数量，这些单词有一个音节或音素（“dog”，“I”），两个音节或音素（“dinner”，“my”），或者三个音节或音素（“president”，“book”）。Liberman、Shankweiler、Fischer 与 Carter（1974）发现 46% 的美国 4 岁儿童可以将单词分割为音节，而该年龄组中没有儿童能够操作音素。5 岁儿童中得分的正确率分别为 48% 和 17%。只有 6 岁儿童，由于进行了一年的阅读学习，他们能够成功地完成音素任务。一项关于意大利儿童的研究也发现了相似的发展模式（Cossu，Shankweiler，Liberman，Katz，& Tola，1998）。Cossu 等对比研究了意大利学前儿童（4—5 岁）与学龄儿童（7—8 岁）。他们达到音节水平标准的比例分别是：4 岁儿童 67%，5 岁

儿童80%，学龄儿童100%。达到音素任务标准的比例分别是：4岁儿童13%，5岁儿童27%，学龄儿童97%。美国和意大利儿童所表现出来的发展模式是非常类似的。儿童在进入学校之前就表现出较好的音节意识，但在阅读教学开始前，他们的音素意识较差。

其他语言也表现出相似的模式，参见表12.1。基于目前已有的研究，关于欧洲语言及日语和汉语的研究发现，语音意识的发展顺序似乎具有语言普遍性。音节、首音及韵脚在能够读写之前就可以得到表征。音素表征只有在字母学习和读写教学开始后才能实现。儿童所学正字法的属性可能会促进或阻碍音素的学习过程。学习阅读浅层正字法（transparent orthographies）语言的儿童，由于字母与音素间存在一一对应关系，因此通常可以迅速实现音素表征。而学习阅读非浅层正字法语言的儿童，由于字母和音素间缺乏一一对应关系，因此无法迅速实现音素表征。由于音素发展取决于读写能力，因此儿童音素意识发展的速度就因他们所学正字法的不同而表现出一种系统差异。

表12.1　来自五个研究的数据（正确率）对比了几种欧洲语言的阅读初学者的音节和音素意识情况

语　言	音　节	音　素
希腊语[1]	98	50
土耳其语[2]	94	67
挪威语[3]	83	56
德语[4]	81	51
法语[5]	73	32

注：

1 = Haris & Giannoulis，1999；

2 = Durgunoglu & Oney，1999；

3 = Hoien et al.，1995；

4 = Wimmer et al.，1991；

5 = Demont & Gombert，1996。

正字法对语音表征及阅读策略的影响

语音表征与正字法一致性的依存关系曾经以映射问题（mapping problem）加以描述（Brown & Ellis，1994；Goswami，Ziegler，Dalton，& Schneider，2003）。儿童需要理解字母如何编码语音。前阅读儿童可以意识到的语音是

“较大”的单元，像音节、首音及韵脚。而书写的单元是单个字母。单个字母通常对应音素，因此语音水平和正字法水平之间会出现不匹配，而有效阅读需要在这两者之间建立映射。

对于具有开放（辅音—元音或称 CV）音节结构的一致性正字法，儿童学习阅读时遇到的映射问题难度最小。对于这样的语言来说（比如意大利语和西班牙语），许多单词（如“casa”，“mama”）的首音—韵脚分割（onset-rime segmentation）（读写之前获得）与音素分割（phonemic segmentation）（理论上通过读写获得）是等价的。正常发展的儿童由于能够按照首音及韵脚的音节内单元来组织口语词汇，因此易于获得读写能力。他所学习的正字法中每个字母总是映射到同一个音素。这些音素中有许多都已经在口语词汇中被表征，由于它们本身就是首音与韵脚（例如，单词“casa”，首音—韵脚是/k//a//z//a/，该单词的音素也是这些）。意大利和西班牙儿童通常能非常迅速地习得阅读，参见表 12.2。

表 12.2 来自 14 种欧洲语言中单音节形音编码技能的 COST A8 研究的数据（正确率）（Seymour，Aro & Erskine，2003）

语　言	熟悉的真词	非　词
希腊语	98	97
芬兰语	98	98
德语	98	98
奥地利德语	97	97
意大利语	95	92
西班牙语	95	93
瑞典语	95	91
荷兰语	95	90
冰岛语	94	91
挪威语	92	93
法语	79	88
葡萄牙语	73	76
丹麦语	71	63
苏格兰英语	34	41

对于音节结构更复杂的一致性拼音文字正字法来说（如德语），儿童学习阅读时会遇到更难的映射问题。在这些语言中，多数单词的首音—韵脚分割（读写之前获得）通常不等于音素分割（理论上通过读写获得）。这是由于多

数单词或者是在元音之后有尾音（辅音音素）（如 Hand），或者是有复杂的（辅音串）首音（如 Pflaum [plum]）。然而，像德语这样的语言中一个字母与一个音素依然有一致的映射。因此字母是音素固定的线索。德语儿童学习阅读时依然具有优势，参见表 12. 2。

对于音节结构复杂的不一致性正字法，儿童最初学习阅读时会遇到最复杂的映射问题。最好的例子是英语。对于英语，首音—韵脚分割很少与音素分割相同。此外，阅读中一个字母并非固定地与一个音素映射。相应地，儿童音素意识的发展相当缓慢，他们利用形音编码策略阅读单词的能力也发展缓慢。母语为英语的儿童必须掌握拼写系统中较大的规则，例如利用韵脚的"相似性"（analogies）建立阅读的词汇量（"light" - "fight"，"beak" - "weak"），他们还必须通过整体的形式来学习某些单词（"the"，"choir"，"people"）。母语为英语的儿童只有发展起多种策略才能成功地进行阅读，这也许就是他们出现在表 12. 2 底部的原因。

对阅读障碍的启示

由于某些未知的原因，阅读障碍儿童（词汇量和 IQ 正常却无法轻易地学会阅读）难以在心理上以一种详细而具体的方式表征单词的语音模式。他们所掌握的单词"语音表征"（phonological representations）不够具体，或者说有些模糊，这使他们难以意识到不同单词的内部语音结构（Snowling，2000）。反过来这又使他们难以习得字母—语音关系。这不是由于他们不能掌握字母，而是由于字母所对应的发音在他们脑中表征的具体性相对较差。阅读障碍儿童无法确定单词是否押韵，无法计算单词的音节数，无法删除单词的首音（"star" 变成 "tar"），也无法完成"首音互换"（Chuck Berry 变成 Buck Cherry）。他们还难以解码无意义的单词，如"dem" 和 "fip"（Goswami，2003b 对此有一个概述）。

所有语言的阅读障碍其主要缺陷似乎都涉及语音表征问题（这就是所谓的"语音表征"假设，参见 Goswami，2000a，2000b；Snowling，2000）。许多研究都很好地支持了该假设，包括发展心理学，遗传学以及脑成像方面的研究，此处不再赘述。然而，这种"语音缺陷"（phonological deficit）对阅读的影响似乎依赖于正字法。不一致性正字法（如英语）与一致性正字法（如意大利语、德语、希腊语）相比，前者的阅读障碍儿童会遇到更严重的读写问题。根据本章前几部分中阐述的认知假设，这不难理解。

英语阅读障碍儿童是缓慢且不准确的阅读者，且从未发展出完整的音素意识。相反，德语和希腊语的阅读障碍儿童的阅读则很准确，但是极为缓慢。例如，Porpodas（1999）发现读写有困难的希腊一年级儿童与实龄匹配（chronological-age-matched，CA）的控制组儿童之间在音素意识上差异显著。“风险”儿童在音素分割任务中的正确率为88%，CA控制组正确率则为100%。他们在音素删除任务中的正确率为78%，而CA控制组则为98%。他们能正确解码93%的2到3音节非词，而CA控制组则为97%（差异显著）。Wimmer（1996）报告了相似的研究，他以德国一年级“风险”儿童为被试，在他们还未被确诊为阅读障碍之前研究了他们在音素反转任务（phoneme reversal task）上的表现。“风险”儿童在该任务中的正确率为22%，控制组儿童正确率则为69%。42%的阅读障碍儿童根本做不了这种任务。Wimmer还发现后来成为阅读障碍者的德国儿童中有7/12能正确阅读不足60%的简单非词，如“Mana”和“Aufo”，而后来没有阅读障碍的儿童，他们的正确率平均为96%。随着阅读的习得，这种非词阅读中准确率的缺陷也将逐渐消失。当同一批儿童10岁时，Wimmer（1993）让做他们限时的非词阅读任务，该任务基于具有开放音节的“意大利语”类型的非词（“ketu”，“heleki”，“tarulo”）。阅读障碍儿童得分的正确率为92%，而CA控制组儿童正确率为96%。

204

当与英语阅读障碍儿童相比时，我们就会发现他们的成绩很令人惊讶。例如，Bruck（1992）让8—15岁的阅读障碍儿童完成非词的音素删除任务，儿童需要删除非词（像“snup”，“lusk”）中开头或结尾的音。阅读障碍儿童的正确率为47%，而CA匹配组儿童的正确率则为77%。Rack、Snowling与Olson（1992）综述了英语发展性阅读障碍中的非词阅读。阅读障碍儿童的错误率较高，通常在40%—60%。回想Wimmer（1993）的研究，德国阅读障碍儿童的错误率只有8%。这种跨语言的差异证实，对于不一致性正字法，儿童的确需要花费更长的时间才能发展出形音编码技能，尤其是阅读障碍儿童。

阅读障碍中的基本听觉加工缺陷：P中心假设

在为发展性阅读障碍的语音表征缺陷寻找原因的过程中，出现了一种被人们广为接受的理论，该理论认为语音缺陷是由低水平的基本听觉加工缺陷所致（参见McArthur & Bishop，2001）。言语是一种非常复杂的信号，因此阅读障

碍者也许在加工听觉信息方面有困难，从而使信息无法正确表征，这种观点似乎符合逻辑。言语信号需要基于频谱、时间和频率的分析。有些阅读障碍研究特别关注信号加工的时间方面（例如，Tallal，1980；Wright，Bowen，& Zecker，2000）。然而，大多数时间加工方面的研究都关注快速短暂的信息，这些信息对于识别语音信号中的音素十分重要。可是，从发展的观点来看，音素意识缺陷是由早期音节及首音—韵脚的语音表征困难引起的。或许在音素水平上无法找到基本的听觉加工缺陷。相反，在早期发展的语音水平上去探究语音信息表征可能存在的缺陷也许很重要。

韵律时序（rhythmic timing）的感知缺陷可能是阅读障碍中语音表征困难的感知觉方面的原因（Goswami et al.，2002）。言语韵律是婴儿识别音节最早的线索之一。韵律时序部分依赖于"P中心"（P-centre）加工过程。P中心或"感知中心"是决定言语韵律的音节内部事件。当音节如"ba"及"la"等时距交替呈现时，成人会认为交替出现的音节在时序上是无节奏的。这是由于韵律时序取决于P中心的等时性，而非音节的开始时间。P中心［有时称为重音节拍（stress beats）］原则上是由信号的声音结构以相对较慢的速度进行的振幅调整。音节首音以较慢的速度进行的振幅改变（振幅上升时间）尤为重要。音节首音振幅调整的结构很大程度上取决于元音的上升时间。例如，在"ba"中，首音为爆破音意味着元音将出现在音节中相对靠前的位置。在"la"中，首音为响辅音意味着元音在音节中出现的相对较晚。因此，要以规则的节奏交替产生"la"和"ba"，发音者发"la"音要比发"ba"音更早一些。

由于P中心取决于元音的上升时间，因此这将是音节中表征首音—韵脚分割的重要线索。它们因此也将与语音意识的发展及读写能力有重要联系。Goswami等（2002）考察了阅读障碍儿童与匹配的控制组儿童以及阅读早慧儿童与控制组儿童在振幅上升时间侦查方面的心理测量函数（psychometric functions）。上升时间侦查通过"节拍"（beat）侦查任务来测量，基于一种改变振幅调整速度的侦查程序。该任务基于正弦曲线，并且振幅最低调整至50%。其中，振幅改变速度随着上升时间调制的改变而改变，而总体的调整速度保持在0.7 Hz（参见图12.1）。极为缓慢的上升时间（>250 ms）会产生响度改变的连续声音的感觉。然而，当上升时间充分缩短之后（如缩短到120 ms），感觉就变成连续声音，伴随着与调整同频率的、较响的"拍子"（Bregman，1993；这个节拍对应于节奏序列的P中心），儿童需要确定在不同的上升时间条件下，他们是否能听到节拍。

206

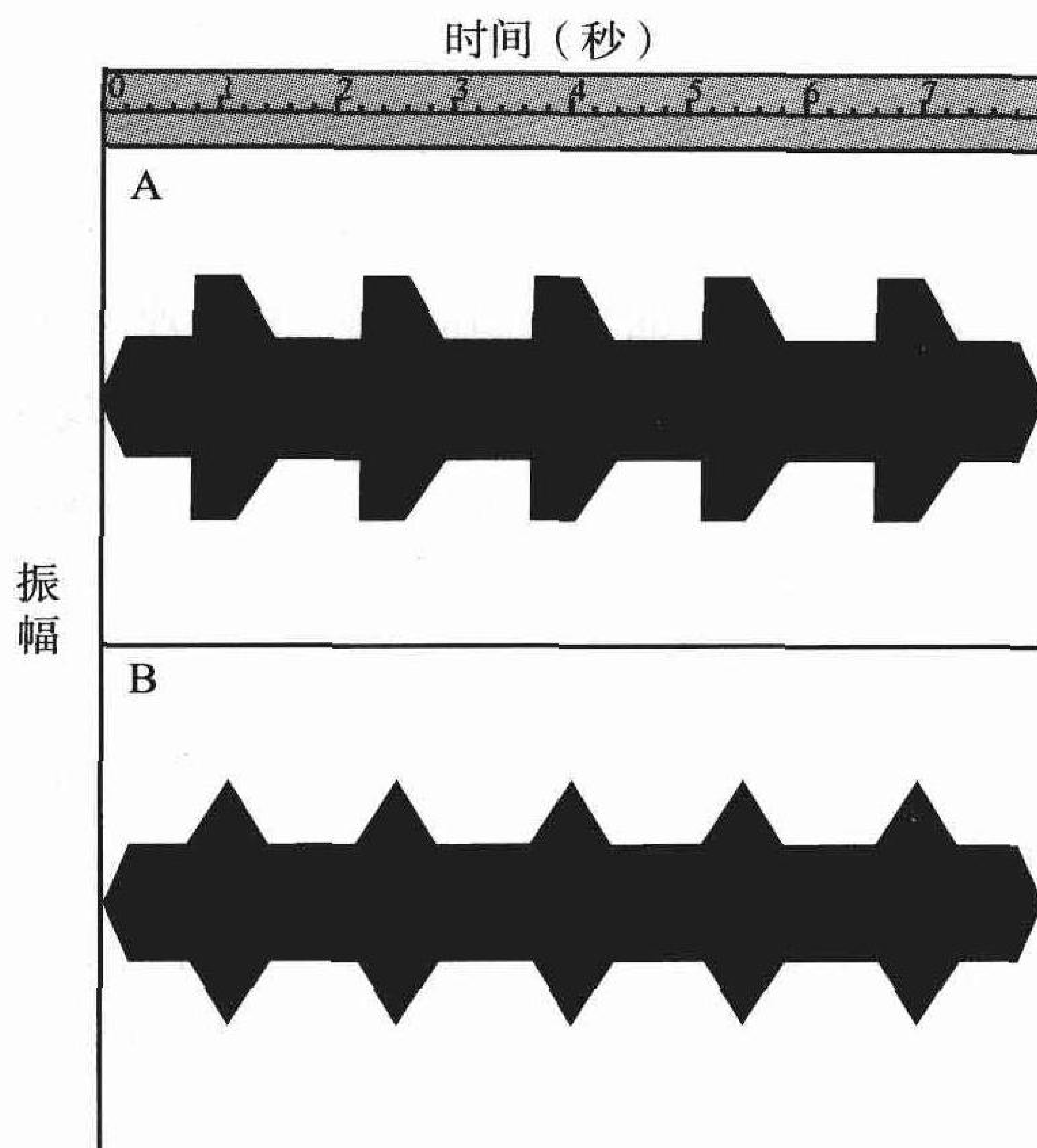


图 12.1　图为上升时间改变的刺激。A 部分上升时间为 15 ms，B 部分上升时间为 300 ms。15 ms 上升时间能产生与第二个声音边缘有重叠的清晰节拍的感觉，300 ms 上升时间能产生单个声音响度强弱变化的感觉。

当上升时间改变时，阅读障碍儿童对节拍感知的调幅经验的确不敏感。阅读障碍儿童的心理测量函数相对于 IQ 匹配的 CA 控制组表现出更平缓的斜率（阅读障碍儿童平均斜率 = -0.03 [s.d. = 0.04]，控制组为 -0.12 [s.d. = 0.08]，p<0.000），参见图 12.2。更年幼的阅读年龄匹配组的斜率居中（平均斜率 = -0.06，s.d. = 0.05，阅读障碍组相对于阅读水平匹配组，p<0.06）。阅读障碍儿童在振幅调整的信号中侦查节拍的能力比同龄人更差，并随阅读水平而改变。阅读超常儿童及 IQ 匹配的控制组也要完成振幅改变速度任务。超常读者在节拍侦查任务中的表现明显更好，他们有更陡的心理测量函数（年幼的早期读者，平均斜率 = -0.14 [s.d. 0.06]，匹配的控制组 = -0.10 [s.d. 0.04]，p<0.04）。节拍侦查也是阅读障碍者及其控制组阅读和拼写技能的一项较强的预测指标。在控制了年龄、非言语智力和词汇量（p's<0.000 1）之后能够解释这两项技能中 25% 的变异。如上所述，在听觉信号中，AM 序列中节拍的侦查（例如我们的文献中所使用的那些）理论上对应于“感知中心”或 P 中心，这对节奏加工十分重要。这与 Petitto 及同事的研究（本书）存在有趣的联系。

207

通过探究聋人儿童手语的牙牙学语，他们提出人类语言能力的核心是对以音节速度呈现的特定节奏模式的敏感性。节拍侦查任务实质上是测量儿童的听觉通道对这种节奏模式的敏感性。

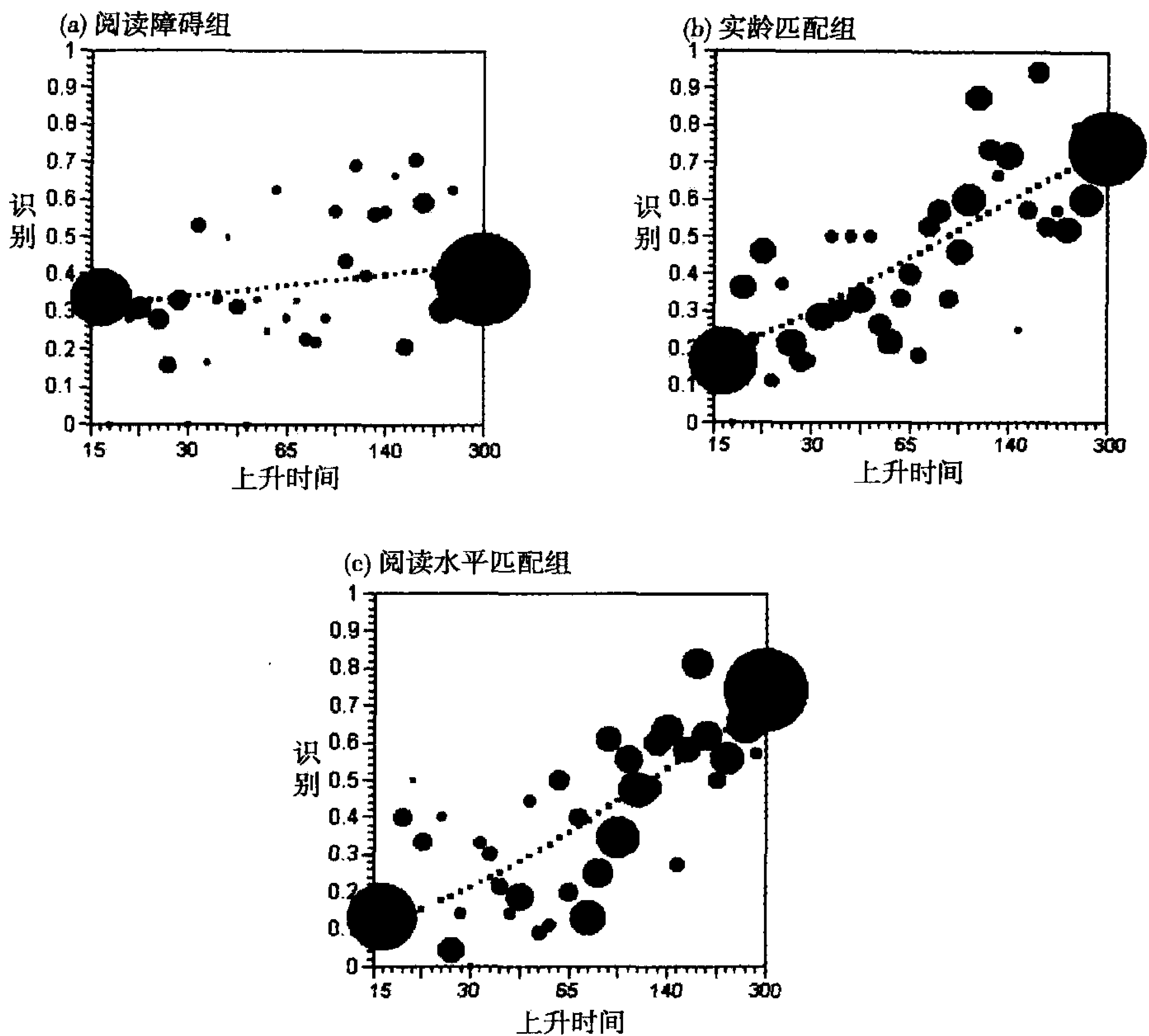


图 12.2　(a) 阅读障碍组；(b) 实龄匹配组；(c) 阅读水平匹配组在节拍侦查任务中将刺激识别为一个声音（部分）的心理测量函数。圆点的大小代表反应的次数。阅读障碍儿童的函数曲线明显更平坦，说明他们对振幅上升时间调节的敏感性降低。

上升时间的神经表征

最近，研究者开始探究阅读障碍儿童与正常儿童上升时间加工的神经特征（Thomson，Baldeweg，& Goswami，2004）。参加过 2002 年研究的阅读障碍儿童和控制组儿童又重新参与基于诱发反应电位（evoked response potentials，ERPs）技术的上升时间加工的神经影像学研究。ERPs 技术可以精确记录神经活动的时间进程。该技术将敏感的电极置于儿童的头皮之上，可以记录脑的活动情况。电活动的系统性改变将先于、伴随或者跟随实验者确定的事件而发生。最常测量的内容包括（i）电位的潜伏期，（ii）神经反应的各种正负变化

的幅度，（iii）电活动的分布。不同的电位（无数 ERP 研究中都有描述）被称作 N100、P200、N400 等，表示负的峰值出现在 100 ms，正的峰值出现在 200 ms，等等。

我们的研究尤其关注不同上升时间引起的 N100 反应。我们还关心上升时间改变可能引起的失匹配负波（mis-match negativity，MMN）。N100 是一种早期听觉成分，它表示对听觉事件的觉察。MMN 是对自动觉察听觉刺激改变的一种前注意的测量。一般认为 MMN 是基于脑对输入事件与先前事件的回声痕迹所作的对比。儿童在观看一段无声视频的同时会通过耳机听到 15 ms 或 90 ms的上升时间。90% 的情况下，儿童将听到 15 ms 的上升时间，5% 的情况下会听到 90ms 的上升时间（反之亦然，这被称为“oddball”范式。5% 的情况下听到的刺激就是 oddball）。另外 5% 的情况下，刺激的音高会发生改变。已有研究发现阅读障碍儿童对音高改变会表现出 MMN 反应（参见 Baldeweg et al.，1999）。音高 oddball 作为控制条件，用以检验样本中是否出现 MMN 反应。

208 根据阅读障碍者 P 中心加工受损假设，我们关注儿童在两个上升时间上的 N100 反应，以及他们对上升时间 oddball 的 MMN 反应。到写作之时，只测 209 试了 14 名儿童（4 名阅读障碍儿童，6 名年龄更小的阅读水平或 RL 控制组，4 名 CA 控制组；使用了鼻子参照，但是已经发现了十分清晰的 N100 反应模式。已有研究强调青春期前的儿童在颞叶有更一致的 N100 的偏转（参见 Bruneauet et al.，1997）。对于 15 ms 上升时间的刺激，所有实验组都在颞叶的电极表现出清晰的 N100。但相对于 CA 控制组（与阅读障碍儿童年龄匹配，反应大约在-1.5 微伏），年幼的正常儿童（与阅读障碍儿童阅读水平匹配，RL 控制组，-3.5 微伏）这一 N100 反应的波幅更大。阅读障碍儿童 N100 的波幅与年龄更小的 RL 控制组儿童几乎一致。90 ms 上升时间的刺激也发现了相似的模式，尽管这里所有的波幅都减小了。然而，RL 儿童的 N100 反应要比年龄更大的 CA 组儿童大两倍。而阅读障碍儿童的 N100 波幅与年龄更小的 RL 控制组一致。

这些发现表明，阅读障碍儿童的听觉系统只是不成熟而并非不正常。阅读障碍儿童的脑对上升时间波幅的反应方式与年龄更小、发展正常的儿童一致。阅读障碍儿童的神经反应与他们的阅读水平相适应，而非与其年龄相适应。在我们的研究数据中，正如预期的那样，N100 的波幅还与上升时间辨别任务上的行为成绩显著相关。（例如，$r=0.60$，颞叶电极 T5；$r=0.69$，颞叶电极 LM，$p's<0.01$；颞叶区专门负责语言加工）。这些模式至少表明阅读障碍儿童

的阅读水平就其听觉加工能力（及其相应的语音系统的发展）来看还算是合理的。然而，这些数据只是纯粹的相关，阅读发展本身也能提高儿童上升时间加工能力。因此，还需要纵向研究数据来进一步区分这两种可能性。

结论

语音意识和读写习得有因果联系。有的儿童在心理词典中能够对单词进行高度精确的语音表征，他们将成为优秀的阅读者。能够进行高度精确的语音表征，一个重要的因素是对语音流中超音节成分（如语音节奏）的感知。例如，从理论上讲，与首音—韵脚分割相关的音节感知中心的信息是很重要的。阅读障碍儿童感知上升时间波幅的能力有缺陷，从而干扰了 P 中心的侦查，这或许源于神经缺陷。这种缺陷理论上会在读写习得之前干扰音节、首音及韵脚水平上语音意识的发展，而且也可能会在读写学习时干扰音素信息的表征。 210

重要的是，正字法的一致性能促进正常儿童及阅读障碍儿童音素意识的发展。对于学习一致性正字法的阅读障碍儿童，字母—读音的一致性能够帮助他们在首音—韵脚及音素水平上表征语音。通过使用字母知识，他们能在某种程度上补偿语音表征的神经缺陷。而学习不一致性正字法（如英语）的阅读障碍儿童就没有这种步步为营的过程。英语阅读障碍儿童在音素水平上会表现出持续的缺陷，这将一致延续到成年期。这种持续的缺陷似乎部分来源于他们所学正字法的不一致性。

根据这种跨语言的分析，音素意识缺陷并非阅读障碍儿童阅读困难的真实原因。更确切地说，阅读困难源自一个预先存在的语音表征问题，它阻碍了字母及音素的学习。一致性正字法可以在某种程度上改善这一问题。未来的挑战是通过跨语言的方法检验神经系统对听觉线索（如上升时间）的反应，以更加详细地描述韵律加工、语音表征及读写技能之间的关系。

参考文献

Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C., and Gruzelier, J. (1999). *Ann. Neurology*, 45(4), 495-503.

Bradley, L. and Bryant, P. E. (1983). Categorising sounds and learning to read: A causal connection. *Nature*, 310, 419-421.

Bregman, A. S. (1993). Auditory scene analysis: hearing in complex environments. In McAdams, S. and Bigand, E. (eds.), *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human*

Audition*, (pp. 10-36). Oxford: Oxford University Press.

Brown, G. D. A. and Ellis, N. C. (1994). Issues in spelling research. In G. D. A. Brown and N. C. Ellis(eds.), *Handbook of Spelling: Theory, Process and Intervention*(pp. 3-25). Chichester: Wiley.

Bruck, M. (1992). Persistence of dyslexics'phonological awareness deficits. *Developmental Psychology*, 28, 874-886.

Bruneau, N., Roux, S., Guérin, P., Barthélémy, C., and Lelord, G. (1997). Temporal prominence of auditory evoked potentials(NI wave) in 4-8-year-old children. *Psychophysiology*, 34, 32-38.

Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., Katz, L., and Tola, G. (1988). Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children. *Applied Psycholinguistics*, 9, 1-16.

Goswami, U. (2000a). Phonological representations, reading development and dys-lexia: Towards a cross-linguistic theoretical framework. *Dyslexia*, 6, 133-151.

(2000b). The potential of a neuro-constructivist framework for developmental dyslexia: The abnormal development of phonological representations? *Developmental Science*, 3, 27-29.

(2002). In the beginning was the rhyme? A reflection on Hulme, Hatcher, Nation, Brown, Adams & Stuart, 2002. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82, 47-57.

(2003a). Phonology, learning to read and dyslexia: A cross-linguistic analysis. In V. Csepe (ed.), *Dyslexia: Different Brain, Different Behaviour*, (pp. 1-40). NL: Kluwer Academic.

(2003b). Why theories about developmental dyslexia require developmental designs. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 534-540.

Goswami, U., Thomson, J., Richardson, U., Stainthorp, R., Hughes, D., Rosen, S., and Scott, S. K. (2002). Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(16), 10911-10916.

Goswami, U., Ziegler, J., Dalton, L., and Schneider, W. (2003). Nonword reading across orthographies: How flexible is the choice of reading units? *Applied Psycholinguistics*, 24, 235-247.

Hoien, T., Lundberg, L., Stanovich, K. E., and Bjaalid, I. K. (1995). Components of phonological awareness. *Reading & Writing*, 7, 171-188.

Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W., and Carter, B. (1974). Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 201-212.

McArthur, G. M. and Bishop, D. V. M. (2001). Auditory perceptual processing in people with reading and oral language impairments: Current issues and recommendations. *Dyslexia*, 7, 150-170.

Porpodas, C. D. (1999). Patterns of phonological and memory processing in beginning readers and spellers of Greek. *Journal of Learning Disabilities*, 32, 406-416.

Rack, J. P., Snowling, M. J., and Olson, R. (1992). The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly*, 27, 29-53.

Siok, W. T. and Fletcher, P. (2001). The role of phonological awareness and visual-orthographic skills in Chinese reading acquisition. *Developmental Psychology*, 37, 886-899.

Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia*. 2nd edition. Oxford: Blackwells.

Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain & Language*, 9, 182-198.

Thomson, J., Baldeweg, T., and Goswami, U. (2004). *Amplitude envelope onsets and dyslexia: a behavioural and electrophysiological study.* Poster presented at the Annual Conference of the Society for the Scientific Study of Reading, Amsterdam, June 2004.

Wimmer, H. (1993). Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics*, 14, 1-33.

(1996). The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading & Writing*, 8, 171-188.

Wright, B. A., Bowen, R. W., and Zecker, S. G. (2000). Nonlinguistic perceptual deficits associated with reading and language disorders. *Current Opinions in Neurobiology*, 10, 482-486.

第十三章

早期语言及语音发展的皮层成像——近红外光谱技术

Laura-Ann Petitto

概述

教育神经科学（educational neuroscience）为研究者和教育者提供了有力的工具和新知识，使他们在认知神经科学的基础上为风险儿童的教育及矫治打开了新的视野。近红外光谱技术（Near-Infrared Spectroscopy，NIRS）是一项前景广阔的新技术，可以用来探索年龄很小的儿童的认知功能与行为。近红外光谱技术有力地证明婴儿在学会说话之前，脑中就已经存在语言特异性的神经网络。对于语言刺激，该神经网络包括左侧颞上回与布洛卡区，而这些脑区与年龄较大的儿童及成人的语言密切相关。脑成像研究能够为语言习得模型提供新的验证方法，这些语言习得模型是以早期赋予的特定语言区为基础的。同样，教育神经科学的研究也会致力于解决许多其他与教育有关的问题。

——编者

革命也许会在意想不到的地方开始。大约20年前，医院地下室的研究者开始使用新的脑成像技术来研究志愿者在完成各种认知任务时脑内部的情况。这种激动人心的成像技术可以检测哪些脑区由于完成特定认知任务而比其他脑区消耗更多的氧气。使用该技术可以发现脑是如何组织的，以及哪一些神经系统使人类惊人的心理功能成为可能。伴随着这些关于成人的认知神经科学研

究，认知科学、认知心理学、社会心理学及其他学科的研究者在感知觉、认知和社会领域取得了根本性的进展。

通过精巧的行为实验，儿童发展及儿童语言领域的研究者开始对儿童进行细致的研究。他们研究了婴儿在许多方面所具有的先天及后天学习的能力，包括他们听声音、牙牙学语、理解、语言产生、发现数字的概念及数学、感知面孔以及周围世界的物体、学习和成长，以及这些能力在成长过程中如何与环境交互作用。随后，研究者很快就使用全新的脑成像技术来研究儿童，以确定儿童获得这些能力所需要的神经通路，研究的核心就变成探索儿童发展和掌握这些能力的时间进程及顺序。这些研究成果为在发展过程中的特定年龄段开展教学，激发动机及学习特定内容提供了最佳引入点。此外，来自科学家、医学及临床从业者、教育者的研究证实了儿童成长的社会背景是至关重要的：家庭、社区及学校有可能通过系统、适宜的干预来积极促进儿童的发展。 214

不久，来自各个领域的研究者在许多方面都有了非凡的发现，包括儿童成长、语言习得、思维、推理、技能与知识学习（包括阅读、数学及科学）以及他们如何形成社会、情感、道德世界的概念。至此，教育学的革命诞生了！

研究者和教育者都开始聚焦于有重要教育意义的基本学习机制，这些不同领域的学习之间存在动态的交互作用，并随时间而改变。这些有关儿童脑及环境的杰出发现的确在教育学内部引起了一场变革。在 20 世纪也曾出现过一场变革，那时皮亚杰的儿童发展阶段论风靡全球并被奉为制订学校教育方案所依据的金科玉律（Holy Grail）。近来，这种研究者、教育者及实践者之间令人兴奋的合作被称为教育神经科学（如 Petitto & Dunbar，出版中）。教育神经科学将不同学科背景的人聚集到一起，包括脑认知科学家、学习科学家、医学及临床实践者，以及教育政策制定者与教学工作者。他们相互合作，致力于解决儿童发展过程中出现的主要问题，认识人类的学习能力在生命全程中的发展变化（既包括脑层面，也包括行为层面），既使用行为的研究方法，也使用诸如脑成像技术等许多现代技术的研究方法，将教育变革建立在原则性地应用这些研究的基础上（如 Petitto & Dunbar）。

最大的危险是要在制定教育政策之前避免还原论的观点（Mittelstrass，本书），即精神生活的每一方面都能够并且必须被还原为特定的神经活动，我们必须意识到儿童的脑发育直接受到他们的生活场所及环境的影响；生物学因素与环境因素必须协同作用（Singer，本书）。然而，当重视了这些因素之后，教育神经科学这一独特的跨学科领域就能极大地促进我们在许多领域对于儿童教育最佳方式的认识（包括语言及双语教学、阅读、数学、科学），而且它已 215

经为特定发展性障碍提供了重要的启示。例如，对于患有注意缺陷多动症、阿斯伯格（Asperger）综合征及孤独症的儿童，已经出现了更合理的评价工具和治疗以及教育干预措施。这其中也包括语言发展异常的儿童，如阅读障碍及特定的语言损伤。

发展中的“敏感期”的确告诉人们学习核心内容的最佳时机在什么时候（批判性观点参见 Bruner，本书）。例如，何时在课程中引入外语教学，语音阅读教学法与整词阅读教学法相比哪个更好，以及语音意识教学如何提高优秀与异常阅读者（阅读障碍者，Shaywitz et al.，1998）的水平，数学与科学学习的发展阶段等，在这些方面都有了新发现并且已经开始影响教育课程的设置。（Byrnes & Fox，1998；Greake，2003，2004；Greake & Cooper，2003；Goswami，2004；O'Boyle & Gill，1998）

下面介绍一个教育神经科学的研究新发现。之所以称其为“教育神经科学”发现，是由于它集合了（i）认知神经科学关于脑的神经影像发现，（ii）建立了行为研究方法与内容（这里是来自儿童语言），（iii）作为原则应用于确定国家教育重点（这里指有语言障碍风险的儿童的早期鉴别与矫治）。尤为重要的是，目前教育神经科学的发现既能推进上述领域（儿童语言）的发展，也能推进更广泛的教育领域的发展，**这是从前只使用行为学或观察方法无法做到的。**

我们的问题是，婴儿如何从周围环境的持续变化的语音及感知流中，发现构成整个语言基础的有限的语音单元？传统上主要使用行为研究方法来解决该问题，去推断这一能力是由语言特异性还是感知一般性机制所控制的。现在，我们将展示脑成像这项新技术如何为儿童语言研究中这个几十年来的老问题提供新的启示，同时在儿童说出第一批单词之前，为有语言障碍风险的儿童的早期鉴别与教育提供帮助。

大约 10 个月大的婴儿可以从混乱的视听世界中发现构成整个母语基础的有限的语音单元。40 年来，研究者围绕婴儿如何掌握这一非凡的能力展开了激烈的争论。一些人认为该能力反映了人类神经系统能够优先加工自然语言的特定属性，而另一些人则认为，该能力建立在一般感知觉机制的基础上。

20 世纪 60 年代以来，婴儿如何从周围持续改变的视听信息流中发现语言的语音单元，一直是儿童早期语言习得研究中无法解决的问题。数十年的研究表明，婴儿（6 个月以下）能够分辨世界上所有语言的语音对比（phonetic contrasts），包括母语和非母语（外语）的口语语音对比，即使从没有听过这些语音。但是，10—12 个月时，婴儿的表现就与成人类似了，而且只能区分

自己母语的语音对比，似乎他们最初开放性的能力在发展过程中已经固定为（或减少或神经上的调整）出现在他们环境中的特定语言对比（Jusczyk，1997；Eimas，1975；Eimas，Siqueland，Jusczyk，& Vigorito，1971；Kuhl，1979；Polka & Werker，1994；Stager & Werker，1997；Werker，Cohen，Lloyd，Casasola，& Stager，1998；Werker & Lalonde，1998；Werker & Stager，1998；Werker & Lalonde，1998；Werker & Stager，2000；Werker & Tees，1983，1999）。因此，过去，人们认为，婴儿天生就具有分割及加工语音单元的专门语言机制。

然而，婴儿具有专门化语言机制的观点受到了许多研究的挑战。研究表明某些非人类动物也能明确地分辨人类语言的语音（Kluender，Diehl，& Killeen，1987；Kuhl，1981；Kuhl & Miller，1975，1978；Kuhl & Padden，1982，1983；Morse & Snowdon，1975；Waters & Wilson，1976），婴儿也能够明确地区分某些非语言的声音（Jusczyk et al.，1977）。当句子按顺序播放而不是倒着播放时，婴儿与棉冠狨猴（cotton-top tamarin）都能够区别来自陌生语言（如荷兰语和日语）的句子（Ramus，Hauser，Miller，Morris，& Mehler，2000）。此外，婴儿与棉冠狨猴都能区分输入的语音流中仅在出现频率上有差异的音节（Hauser，Newport，& Aslin，2001；Saffran，Aslin，& Newport，1996）。基于这些发现，许多研究者都不接受婴儿具有语言/语音加工的特异性机制的观点。相反，他们认为婴儿对于语音/语言的感知可以用其他物种中也存在的一般听觉（感知）机制给予最佳解释（Aslin，1987；Jusczyk，1985）。

这场争论一直存在的原因是，这一经验性问题，不论从前还是现在都无法回答。尤其是目前所有的研究都是用语音与声音来检验语音与声音是否是该分类能力的关键。结果，负责语言感知的特定（语音/语言）加工过程相对于一般（听觉/感知）的加工过程在实验中一直无法分离，致使当代科学无法确定语音表征假设与一般听觉（一般感知）表征假设哪一个是正确的。最近，Baker、Sootsman、Golinkoff 与 Petitto（2003），Baker、Idsardi、Golinkoff 与 Petitto（2005），Baker、Golinkoff 与 Petitto（发表中），以及 Baker、Groh、Cohen 与 Petitto（已提交）的研究为这一争论提供了新的行为证据，证明这些早期的语音加工能力由语言特异性机制而非一般听觉/感知机制负责。此外，他们还发现这种能力是人类特有的，其他灵长类（如 Petitto 和同事用于与婴儿对比的猴子）并不具备（Baker，Groh，Cohen，& Petitto，已提交）。通过 Petitto 的婴儿习惯化研究实验，Petitto 与同事发现，听力正常、接触了语言的4个月大的婴儿能够通过范畴成员分辨美国手语（American Sign Language，

ASL）中的语音手势。即他们将其看作是真正的语言/语音单元，就像接触英语的婴儿能够区分北印度语中的语音单元（即使从未接触过；Stager & Werker，1997；Werker et al.，1998；Werker & Stager，2000；其他经典研究见Jusczyk，1997）。重要的是，这些婴儿14个月大时就不能区分手势了，正如语音感知的结果一样。猴子永远都不能区分语音的手势单元，其表现类似于不能进行语音分类的14个月大的婴儿。因此，基于这些行为研究，早期语音加工及语音分类能力的发展也许是“语言特异性”的，而非一般感知觉加工的结果。

NIRS 神经影像技术的新发现

语音辨别的行为研究为婴儿到底是如何分析输入的语音流这个问题提供了诱人的线索，以往这个难题中有一个重要的缺失：幼儿究竟是通过经典语言区和语言神经网络来实现语音辨别，还是通过与刺激的一般感知觉加工（视觉或听觉）相关的其他脑区来实现？如果是前者，这些负责语言加工的神经网络发展的时间进程又是怎样的？了解这一重要信息就能得到这一难题中的关键性“缺失部分”，这也将从根本上真正推进我们对人类发展中这一关键问题的认识，这是从前不可能实现的。

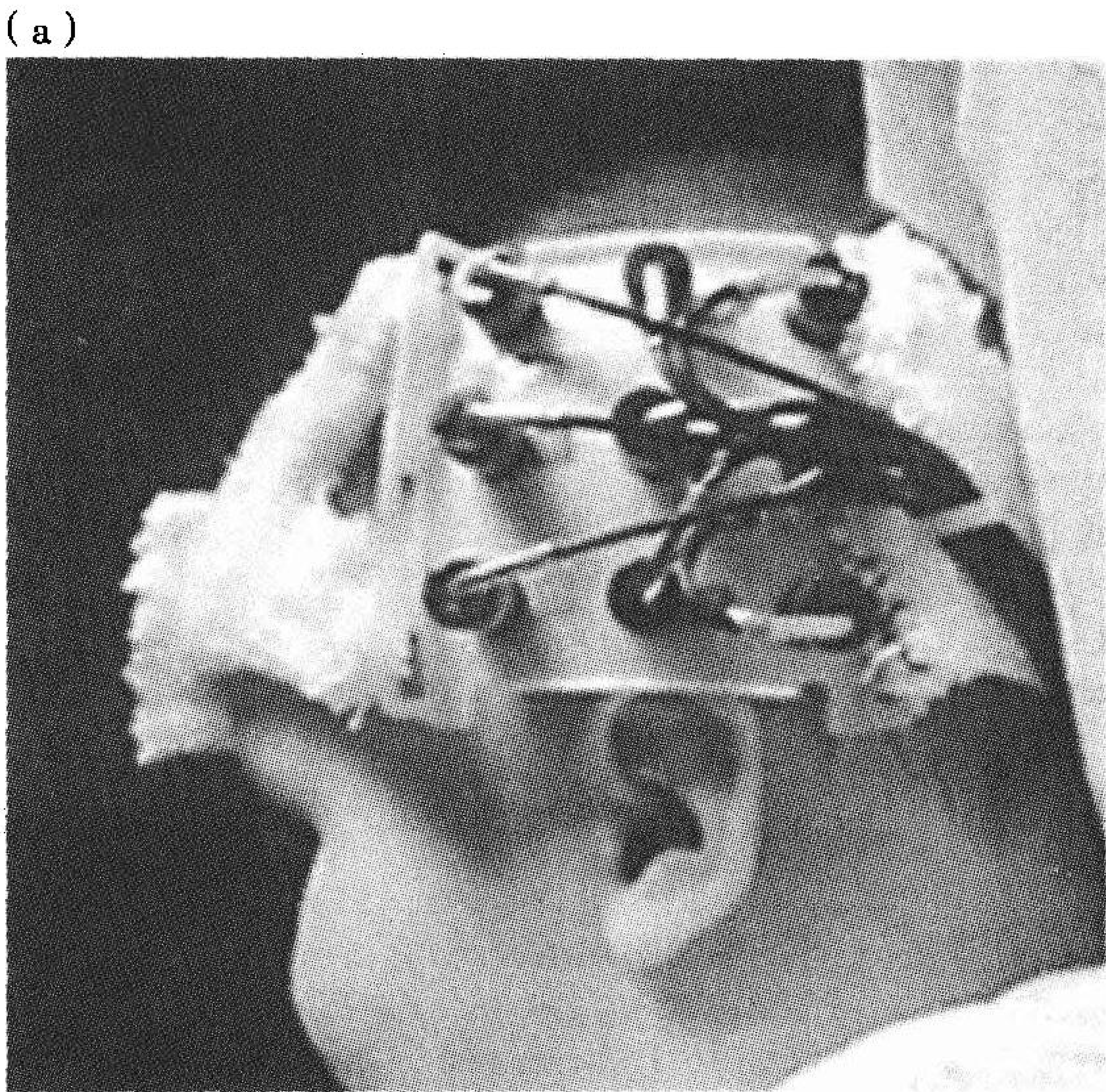
为回答这一问题，研究者在以往行为实验的基础上通过最新的光学神经影像技术——近红外光谱技术（Near-Infrared Spectroscopy，NIRS），设计了一系列新的相关实验来探究婴儿发展语音加工能力的神经关联性。与fMRI一样，NIRS也是一种无创性光学技术，能够测量脑部血液动力学活动，因此可以使人们“看到”儿童与成人加工特定任务时脑内部的活动情况。与fMRI不同的是，NIRS便携度较高，儿童也适用，能够允许比fMRI更大的头动，可以用来研究较活跃的（正在发声/说话的）被试。

目前只有三项研究使用了NIRS技术来研究婴儿的认知，具体地说有客体永久性的研究（Baird et al.，2002）及情绪的研究（Sakatani，Chen，Lichty，Zuo，& Wang，1999；Zaramella et al.，2001），这些研究都取得了很大的成功。此外，还有一项研究考察了婴儿的语言加工（Peña et al.，2003），尽管他们只粗略地对比了激活出现在右脑还是左脑。除了目前这项研究，还没有研究考察儿童语言发展的集中激活情况，并分析婴儿半球内的激活差异。

我们用NIRS技术研究了婴儿语言及感知刺激的神经加工。研究使用标准化的行为任务（包括一般视觉感知与语言加工），被试是习惯化研究实验室的婴儿［运用经典的婴儿注视/辨别范式（looking/discrimination paradigm）］。同

时，还要使用 NIRS 记录婴儿的脑活动情况，用以检验核心神经组织（及神经组织网络）的半球内神经解剖学假设，即比较一般感知假设与语言的加工功能假设。硅探测装置（或探测支架）含有光学纤维，该装置通过柔软的毛线头带固定在被试头部（见照片 13A）。目前仅对婴儿和成人进行了一些初步研究，这里只介绍一部分关于婴儿的研究（Petitto，Baker，Baird，Kovelman，& Norton 2004；Petitto，Baker，Kovelman，& Shalinsky，准备中）。 219

(a)

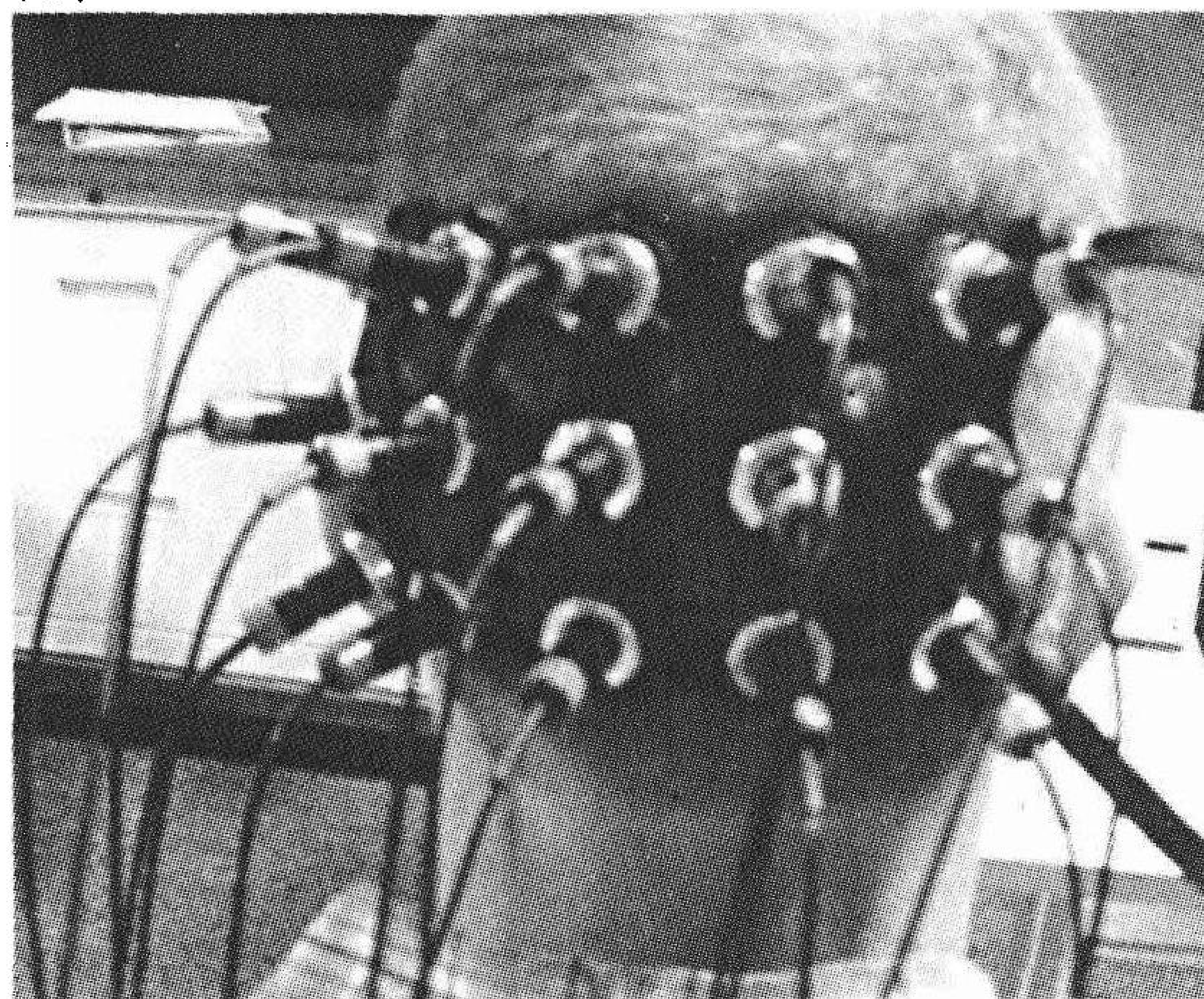


照片 13A　典型的颞叶定位图示（婴儿）

研究通过目前普遍使用的标准脑成像系统日立 ETG-100 NIRS 装置进行 NIRS 记录，它可以同时记录来自皮层的 24 导数据。这些数据可以记录和测量头皮下 2—3 厘米的皮层上血管的改变。EGT-100 通过光纤发出 780 nm 与 830 nm两个波长的红外线（光探头间距为 2 厘米）。使用两个不同波长的原因是氧基血红素［oxyhemoglobin（HbO）］与脱氧血红素［deoxyhemoglobin（Hb）］的吸收模式的特征不同（Villringer & Chance，1997）。不能吸收的光线每 100 毫秒取一次样。从特定侦察器进入的信号由两种源波长构成，并被以两种源信号为参照的同时性（锁定）侦查所分离。这两种成分被 20 Hz 的低通滤波过滤（low pass filtered），以消除自主信号（如心跳与呼吸），并通过计算机实现数字化。计算机将每种波长的氧吸收的变化转变为脑中两种发色团 HbO 与 Hb 的相对浓度的变化。而 HbO 与 Hb 改变之和，就能计算出全部血色素对任务、控制及基线条件作出反应时的总体改变情况。 220

NIRS 探测器被安放到两个位置：颞叶与枕叶。为确保探测装置准确地安放在神经解剖位置上，在头皮上放置时使用了以下系统化方法。第一个位置，颞叶，使用了两个探测装置，每一个都包含 9 条直径为 1 mm 的光纤。一个被安放在左半球，另一个被安放在右半球。探测器被安放到最有可能监测到额叶与颞叶的区域，特别是布洛卡区与颞上回。每个探测装置的 9 条光纤中，有 5 条是发射器，4 条是侦察器。光纤之间间隔为 2 cm，因此每个半球都能记录 12 个区域（导数=24）。每导都对应相邻的发射器—侦察器光纤对的光线通路的中心区。与已发表的 NIRS 婴儿研究一样（Peña et al.，2003），我们使用 ERP 技术中常用的头皮标记系统，称为 10-20 系统（参见照片 13A-B）来安放探测装置：最高点被确定为从鼻根到枕骨隆突这条线与从左耳廓到右耳廓这条线的交点。第二个位置，探测器被安放到枕叶，每个探测器包含 15 条直径为 1 mm 的光纤（每行 5 个探测器，共 3 行，见照片 13B）。探测器被安放到最有可能监测到视觉区的区域。15 条光纤中 8 条是发射器，7 条是侦察器（参见图 13.1）。光纤间隔 2 cm，能提供 22 导数据。与 10-20 系统一样，探测器最下面一行被安放到枕骨隆突处。

(b)



照片 13B　典型的枕叶定位图示（成人）

6 个足月的健康英语单语婴儿（平均年龄 3 个月 29 天）要完成三个任务，包括接触（i）非母语语音单元（如未出现在儿童母语中的真实的语音单元），（ii）英语中的“儿化语”（即语法正确但是简单而夸张的唱歌似的句子，成人通常用其与婴儿及儿童交流，例见 Fernald et al.，1989），及（iii）视觉呈现的棋盘（即闪烁的黑白棋盘影像；Petitto，Baker，Baird，Kovelman，&

221

Norton 2004；Petitto，Baker，Kovelman，& Shalinsky，准备中）。

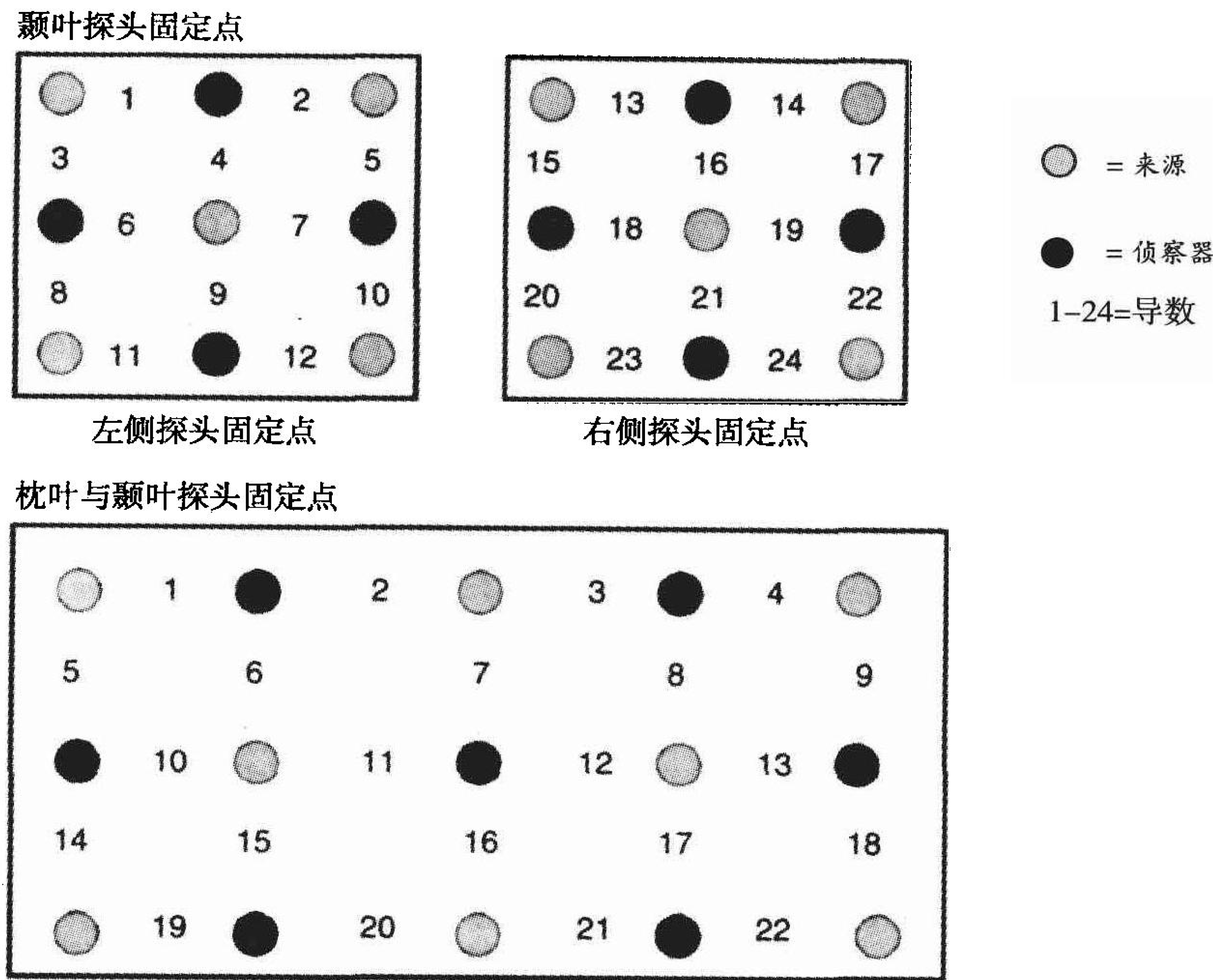


图 13.1 探头位置示意图。放置在被试头皮上的探头固定点中，信息源—侦察器对应的地形图，同时描述了分析中使用的相应导数。上面两个方框表示颞叶探头固定点（左侧探头固定在被试的左半球颞叶处；右侧探头固定在被试右半球颞叶处）。下面一个方框表示枕叶/额叶探头固定点的位置，或者被放置于被试额叶处，或者被安放于枕叶处。

对于任务（i）和（ii），由于材料是语言刺激，因此我们在经典语言区发现了激活（布洛卡区及颞上回-STG），但是在任务（iii）中，由于材料是（非言语的）视觉刺激，因此未在经典语言区发现激活。这三个方面的数据（参见图 13.2 至图 13.4）表明，依据刺激的特定属性，婴儿脑中语言加工与一般视觉加工的区域已经出现了分化。

这一发现令人兴奋，一方面是由于婴儿的年龄非常小，另一方面是由于婴儿语言加工的激活区与经典的成人研究结果一致。此外，婴儿在左侧 STG 与左侧布洛卡区的激活与右半球相应脑区相比明显更大。因此，婴儿研究的结果表明（尽管是初步研究），婴儿的确像成人那样使用经典语言区来加工语言信息。研究还表明，语言加工区在生命早期就已经存在并发挥作用了，这些脑区可能就是语言加工的天赋的神经基础；当然，后面一点还只是初步假设，仍需要大量研究来进一步检验。需要清楚的一点是，对于言语刺激，我们只发现了

语言组织的激活，并未发现与一般感知加工相关的组织的激活。

223

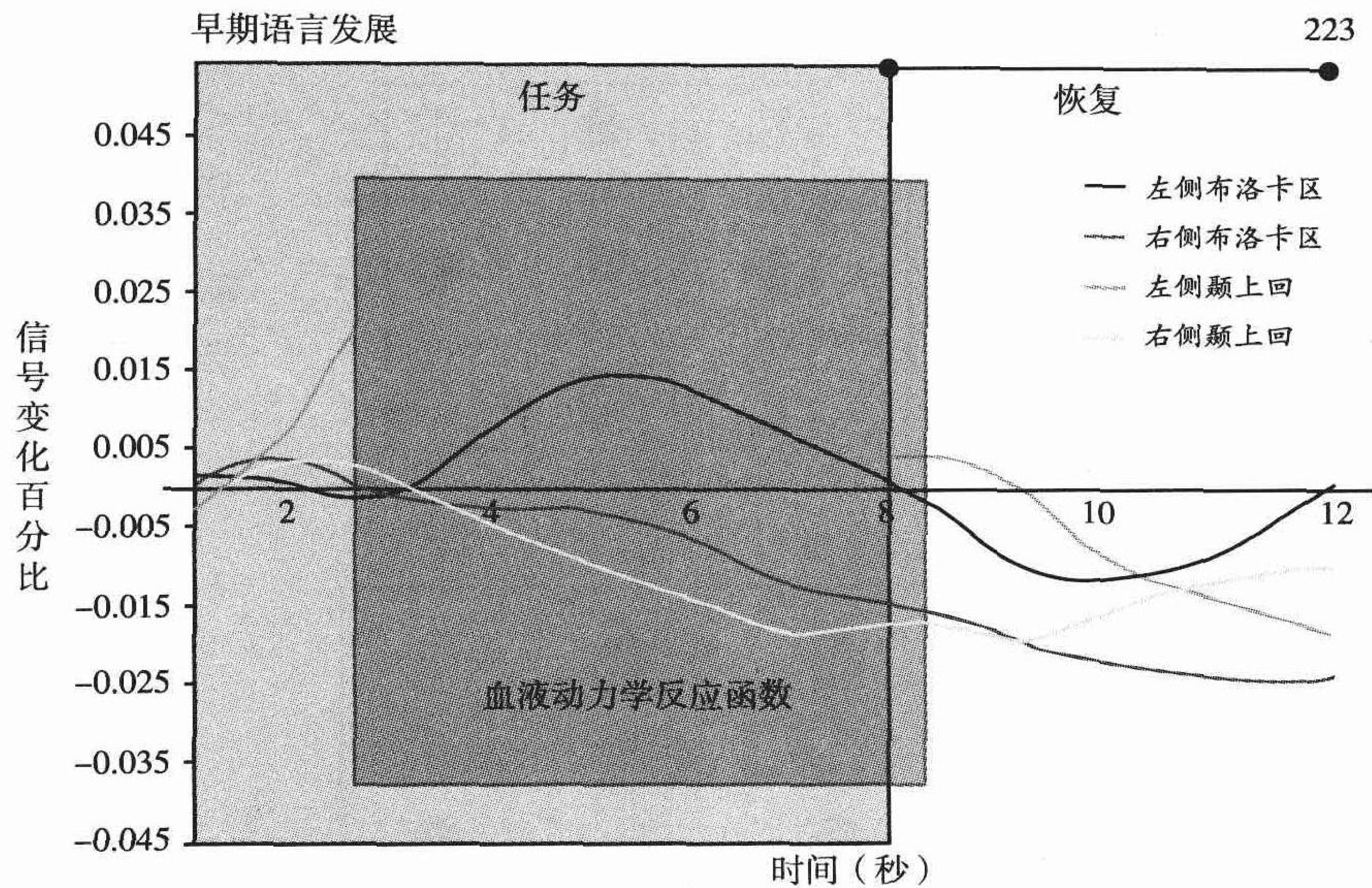


图 13.2 非母语的语音单元：该图说明当给婴儿呈现言语的/语音刺激时，他们左半球的经典语言区布洛卡区和颞上回被激活。但是，布洛卡区和颞上回的右半球对应脑区则没有被激活；可以发现，右侧布洛卡区和右侧颞上回对应的曲线都在水平线之下（左侧布洛卡区和左侧颞上回中都发现了相对于基线的信号增强，分别为 r=0.25，r=0.38）。

意义：数十年来，科学家与教育家一直着迷于婴儿如何从周围稳定的视听信息流中发现语言的组成要素——语音表（inventory）。的确，婴儿切分语音流的能力（发现微小的无意义的语音单元并将其分类）对于他们发现“单词”（及它们的边界），学习单词的意义，并发现短语、从句、句子中单词串的排列规则十分重要。实质上，婴儿发现语音单元并将其分类的能力是人类语言习得过程的核心成分，语音加工是儿童学习单词、语言并最终成为成功的阅读者必备的核心能力！因此，也就不奇怪为什么许多年来研究者都热衷于探究这一问题：婴儿能发现语音单元并将其分类，这一非凡能力的机制到底是什么？

尽管许多行为研究（来自我们实验室及其他研究者）都支持特定语言机制负责婴儿语音及语言习得的假设（Holowka, Brosseau-Lapré, & Petitto, 2000, 2005; Petitto & Holowka, 2002; Petitto & Marentette, 1991; Petitto, Holowka, Sergio, Levy, & Ostry, 2004; Petitto, Holowka, Sergio, & Ostry, 2001; Petitto, Katerelos, Levy, Gauna, Tétrault, & Ferraro, 2001），但却缺乏关于婴儿脑的关键性证据。

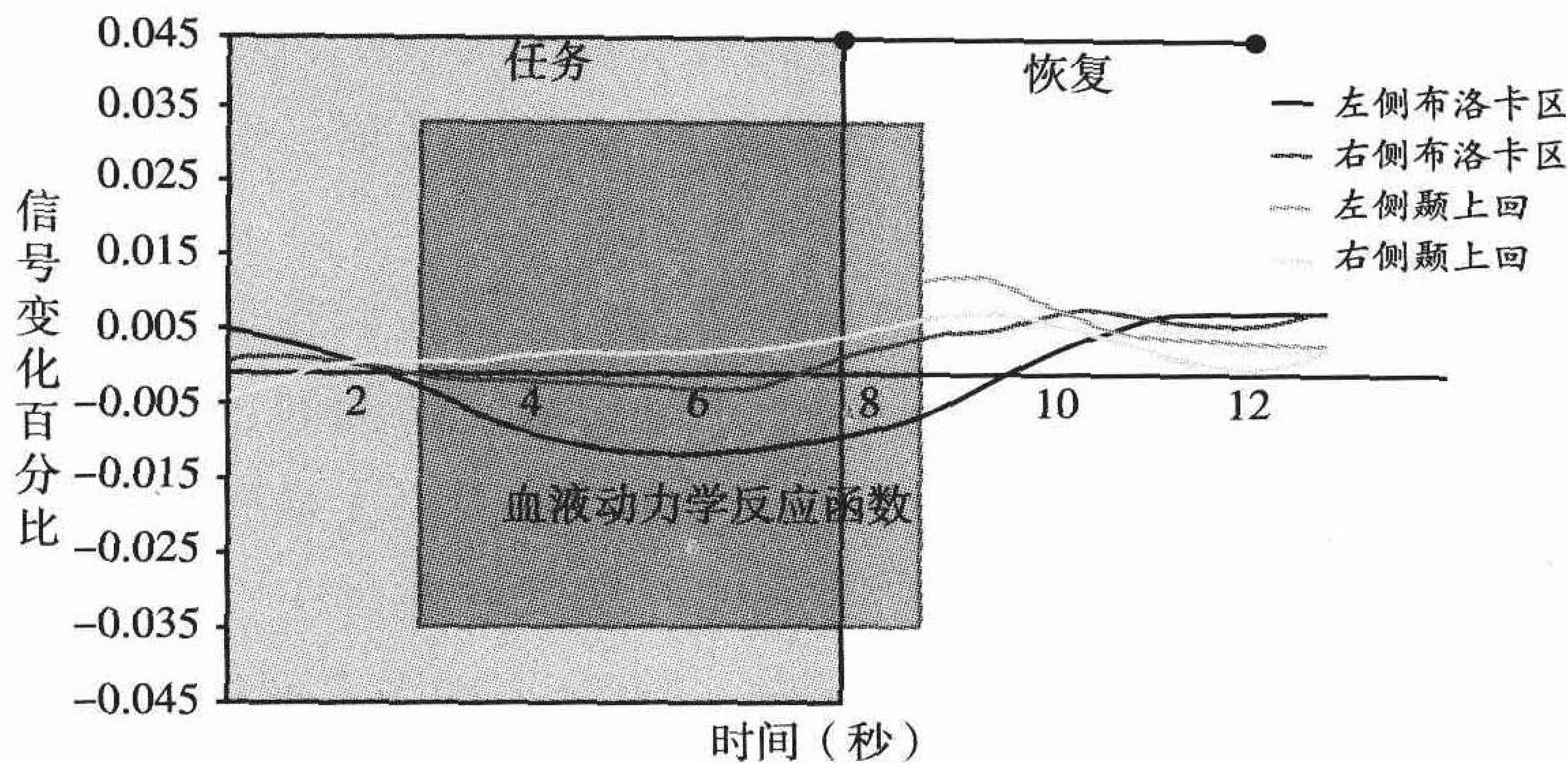


图 13.3　儿化语：该图说明当给婴儿呈现儿化语（唱歌似的句子）时，他们左半球的经典语言区颞上回被显著激活了，而且左侧颞上回的激活要比右侧颞上回的激活更强。此外，正如对该语言任务的预期一样，左侧布洛卡区和右侧布洛卡区都没有被激活；这两个脑区对应的曲线都低于水平线。有趣的是，左侧颞上回的激活要比右侧颞上回的激活更强，这说明婴儿在加工这些言语信息时是将其当作语言刺激而非一般（听觉）感知刺激。如果婴儿使用的是一般听觉感知加工，那么我们应该看到更强的或者更相似的双侧颞上回激活，但实际情况并非如此。(左侧颞上回发现了相对于基线的信号增强，r=0.16)。

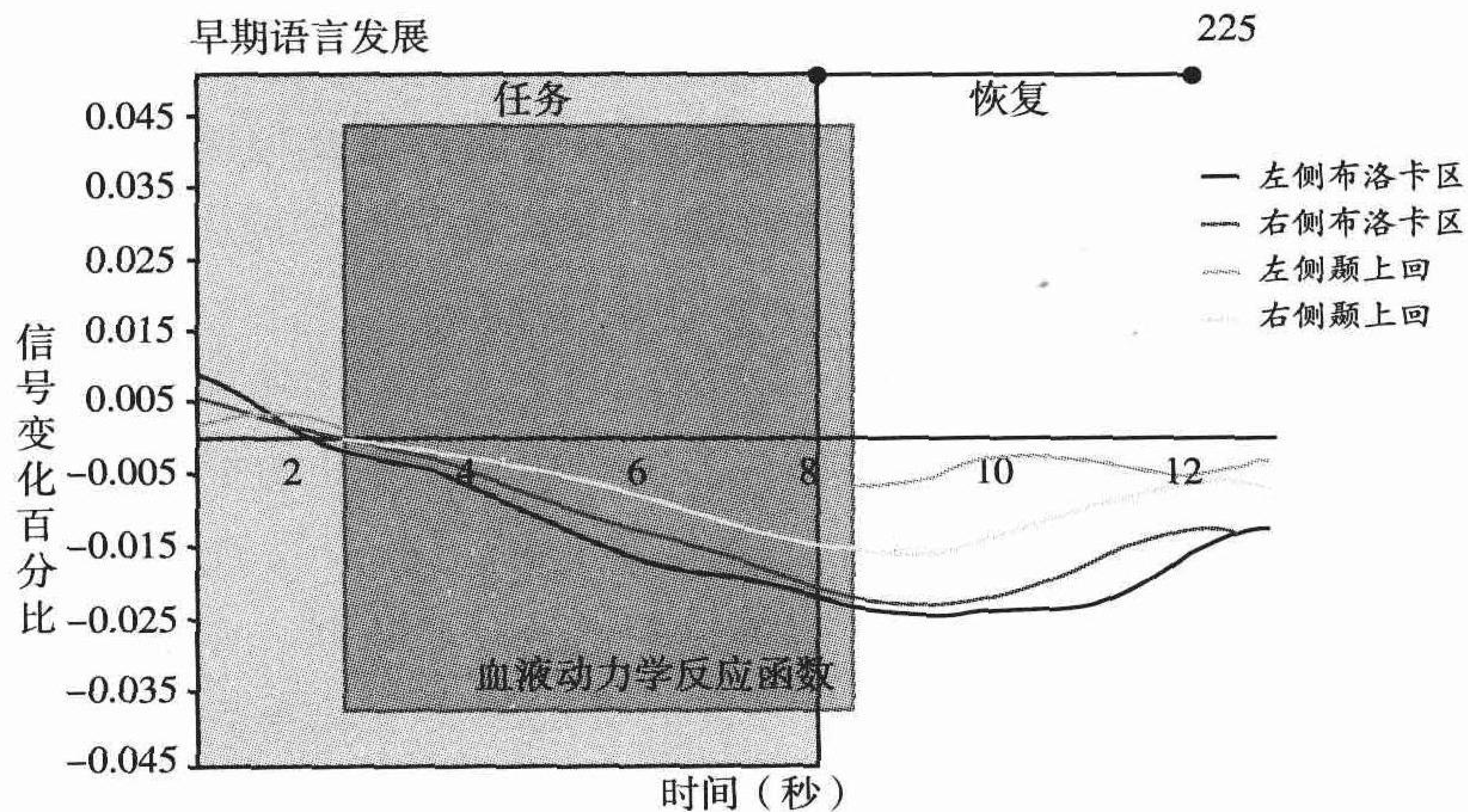


图 13.4　视觉棋盘任务：该图说明当婴儿加工闪烁的黑白棋盘影像时，两侧半球的经典语言加工区都没有被显著激活。可以发现，四条线（左侧布洛卡区，右侧布洛卡区，左侧颞上回，右侧颞上回）都在水平线以下。尤其是左侧语言区布洛卡区（或相应的右侧布洛卡区）在该视知觉任务中没有显著的激活变化。此外，左侧语言区颞上回（或者相应的右侧颞上回，该区在一般听知觉信息加工中会被激活）在该任务中也没有表现出显著的激活改变。总之，左、右半球的脑区激活没有显著差异。考虑到这些探头是安置在左、右半球颞叶上的，因此这些发现也是可以预期的（因为这些刺激都是感知觉性质的），同时这些鼓舞人心的结果也证明了使用 NIRS 技术研究婴儿的有效性。研究表明婴儿并不是用经典语言区来加工视觉刺激。重要的是这些结果有力地证明了我们的脑对不同的输入刺激会作出不同的反应。

当前的研究给一个老生常谈的问题提供了新的解答。历史告诉我们，关于婴儿是通过语言还是一般感知觉的方法来加工言语（语音）刺激这一问题，不能仅通过行为研究的方法来解决。

通过外部观察，婴儿的行为表现无法使我们确定他们在加工任务时的心理过程。本研究首次表明，我们可以获得3个月大的、清醒的、活动着的婴儿加工高度特异性任务时脑内部的激活情况。当然，还需要大量研究来确定这一结论的普遍性。但是，这一初步发现已经表明，婴儿脑在加工特定语音信息时使用的是特定语言机制而非一般感知觉机制。这为儿童语言研究中争论了40年的问题提供了一个解决方法。

226

教育神经科学：从实验室到教育

本研究使用了最新的NIRS技术，使我们第一次能够检验参与语言加工的脑组织高度特异性的神经解剖学假设，这是到目前为止的行为研究无法做到的。关于早期语言学习的启动者与调控者，一直存在语言特异性与感知一般性机制的争论，本研究能帮助解决这一问题。这类研究可以为以下科学问题提供重要的解答：(a) 成为早期语言习得基础的多种因素以及控制加工过程的特定脑组织；(b) 语言加工组织的发展轨迹；(c) 在早期发展中，相对于另外一些输入，语言加工组织对特定语言输入的敏感性最高。

脑成像研究除了能极大地促进对早期脑加工的科学认识，还具有重要的教育应用价值。随着更多的验证性实验以及对NIRS与婴儿的标准化研究的开展，我们将试图通过以下方式建立并提供在诊断、矫治及教学领域中使用NIRS技术研究儿童的专业指南：我们的早期研究已经发现，颞上回，尤其是颞平面，专门负责加工处于语音核心位置的特定节奏变化模式（如Penhune, Cismaru, Dorsaint-Pierre, Petitto, & Zatorre, 2003; Petitto et al., 1998, 2000)。我们已经有证据表明，婴儿从4—5个月时就具有这种能力了(Holowka & Petitto, 2002; Norton, Baker, & Petitto, 2003)。目前我们正在考察年龄更小的儿童情况是否也是如此（从2天起)。确定负责语音切分、分类及加工的神经组织及其发挥作用的年龄，最终能为识别并预测有语言及语音时序障碍（如阅读障碍）风险的儿童提供工具，这在儿童牙牙学语或说出第一批单词之前就能完成。由此，也可以为分辨儿童语音加工中的异常(deviance) 与迟滞 (delay) 提供新的手段。如果只通过行为研究，这是不可能实现的。因为儿童语言与阅读问题要经过很多年才会在行为上表现出来。

因此，这些关于语音能力的研究将会为成功的语言学习与阅读的核心——单词的切分提供有科学实证的重要信息（Goswami，本书）。这方面的研究将会影响美国教育政策的制定，它将会为阅读核心成分（语音加工）提供早期鉴别工具，进而使教育部门能够提供更恰当的语言矫治方案及课堂教学方法。例如，我们实验室以及其他实验室的认知神经科学研究已经在许多方面为教育政策制定及实践提供了新的启示，包括何时在课程中引入外语教学，语音教学法与整词阅读教学法哪个更好，语音意识的教学如何提高优秀与异常阅读者（如阅读障碍者）的水平，以及语言学习的发展阶段（Goswami & Wolf，本书）。所有这些研究已经开始影响美国教育课程的设置。可以肯定的是，在即将到来的教育神经科学研究的世纪将在全球范围内继续推进教育实践与政策的改革。

致谢

能够在梵蒂冈教皇科学院（Pontifical Academy of Sciences）成立400周年纪念之际被邀请到意大利梵蒂冈发表演说是我莫大的荣耀，我深感荣幸（2003年11月7—11日），同时我也有幸见到了约翰·保罗二世。我非常感激Kurt Fischer及Antonio Battro教授给我这个难得的机会。感谢参与到本研究中的婴儿的父母（当然还有那些婴儿）。感谢Elizabeth Norton及Rachael Degenshein在材料准备方面的杰出工作，还要感谢Elizabeth Norton以及本研究的其他合作者Abigail Baird、Stephanie Baker及Ioulia Kovelman对这项挑战性新技术NIRS的开创性使用。最后，我还要感谢对该研究给予资助的机构：斯宾塞基金会以及达特茅斯大学、达纳艺术基金会，尤其要感谢国家健康研究所的慷慨支持（Grant Nos. R01-HD045822-03，R21-HD050558-02）。复印及更多信息请登录Petitto的研究网站：www. utsc. utoronto. ca/~ petitto/。

联系人：Laura-Ann；联系方式：Petitti@ utsc. utoronto. ca。

参考文献

Aslin, R. N. (1987). Visual and auditory development in infancy. In J. D. Osofsky (ed.), *Handbook of Infant Development* (2nd edn., pp. 5–97). Oxford, UK: John Wiley.

Baird, A. A., Kagan, J., Gaudette, T., Walz, K., Hershlag, N., and Boas, D (2002). Frontal lobe activation during object permanence: Data from near infrared spectroscopy. *Neuro-Image*, 16, 1120–1126.

Baker, S. A., Golinkoff, R., and Petitto, L. A. (in press). New insights into old puzzles from infants' categorical discrimination of soundless phonetic units." *Learning Languages and Development*.

Baker, S. A., Groh, J. M., Cohen, Y. E., and Petitto, L. A. (*submitted*). The perception of soundless phonetic units in rhesus macaques. Manuscript submitted for publication.

Baker, S. A., Idsardi, W. J., Golinkoff, R., and Petitto, L. A. (2005). The perception of handshapes in American Sign Language. *Memory & Cognition*, 33 (5), 887-904.

Baker, S., Sootsman, J., Golinkoff, R., and Petitto, L. A. (2003, April). *Hearing four-month-olds' perception of handshapes in American Sign Language: No experience required.* Proceedings of the Society for Research in Child Development 2003 Biennial Meeting, Tampa, FL.

Byrnes, J. P. and Fox, N. A. (1998). The educational relevance of research in cognitive neuroscience. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 297-342.

Eimas, P. D. (1975). Auditory and phonetic coding of the cues for speech: Discrimination of the (r-l) distinction by young infants. *Perception & Psychophysics*, 18 (5), 341-347.

Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., and Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171, 303-306.

Fernald, A., Taeschner, T., Dunn, J., Papousek, M., Boysson-Bardies, B., and Fukui, I. (1989). A cross-language study of prosodic modifications in mothers' and fathers' speech to preverbal infants. *Journal of Child Language*, 16, 477-501.

Geake, J. G. (2003). Adapting middle level educational practices to current research on brain functioning. *Journal of the New England League of Middle Schools*, 15, 6-12.

(2004). Cognitive neuroscience and education: two-way traffic or one-way street? *Westminster Studies in Education*, 27 (1), 87-98.

Geake, J. G. and Cooper, P. W. (2003). Implications of cognitive neuroscience for education. *Westminster Studies in Education*, 26 (10), 7-20.

Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74 (1), 1-14.

Hauser, M. D., Newport, E. L., and Aslin, R. N. (2001). Segmentation of the speech stream in a nonhuman primate: Statistical learning in cotton top tamarins. *Cognition*, 78, B53-B64.

Holowka, S., Brosseau-Lapré, F., and Petitto, L. A. (2002). Semantic and conceptual knowledge underlying bilingual babies' first signs and words. *Language Learning*, 52 (2), 205-262.

Holowka, S. and Petitto, L. A. (2002). Left hemisphere cerebral specialization for babies while babbling. *Science*, 297, 1515.

Jusczyk, P. W. (1985). On characterizing the development of speech perception. In J. Mehler and R. Fox (eds.), *Neonate Cognition: Beyond the Blooming, Buzzing Confusion* (pp. 199-

229). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

(1997). *The Discovery of Spoken Language*. Cambridge, MA: MIT Press.

Jusczyk, P. W., Rosner, B. S., Cutting, J. E., Foard, C. F., and Smith, L. B. (1977). Categorical perception of non-speech sounds by 2-month-old infants. *Perceptual Psychophysics*, 21, 50-54.

Kluender, K. R., Diehl, R. L., and Kileen, P. R. (1987). Japanese-quail can learn phonetic categories. *Science*, 237, 1195-1197.

Kuhl, P. K. (1979). Speech perception in early infancy: Perceptual constancy for spectrally dissimilar vowel categories. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 1669-1679.

(1981). Discrimination of speech by nonhuman animals: Basic auditory sensitivities conductive to the perception of speech-sound categories. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 340-349.

Kuhl, P. K. and Miller, J. D. (1975). Speech perception by the chinchilla: Voiced-voiceless distinction in alveolar plosive consonants. *Science*, 190, 69-72.

(1978). Speech-perception by chinchilla: Identification functions for synthetic VOT stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 905-917.

Kuhl, P. K. and Padden, D. M. (1982). Enhanced discriminability at the phonetic boundaries for the voicing feature in macaques. *Perceptual Psychophysics*, 32, 542-550.

Kuhl, P. K. and Padden, D. M. (1983). Enhanced discriminability at the phonetic boundaries for the place feature in macaques. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1003-1010.

Morse, P. A. and Snowdon, C. T. (1975). An investigation of categorical speech discrimination by rhesus monkeys. *Perception & Psychophysics*, 17 (1), 9-16.

Norton, E. S., Baker, S. and Petitto, L. A (2003, June). *Bilingual infants' categorical perception of phonetic handshapes in American Sign Language*. Poster presented at the University of Pennsylvania Institute for Research in Cognitive Science Summer Workshop, Philadelphia.

O'Boyle, M. W. and Gill, H. S. (1998). On the relevance of research findings in cognitive neuroscience to educational practice. *Educational Psychology Review*, 10, 397-400.

Peña, M., Madi, A., Kovacic, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., and Mehler, J. (2003). Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (20), 11702-11705.

Penhune, V., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A., and Zatorre, R. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI. *NeuroImage*, 20, 1215-1225.

Petitto, L. A. (2005). How the brain begets language: On the neural tissue underlying human language acquisition. Chapter in J. McGilvray (ed.), *The Cambridge Companion to Chomsky*.

(pp. 84–101). Cambridge: Cambridge University Press.

(2000). *On the biological* foundations of human language. In H. Lane and K. Emmorey (eds.). *The Signs of Language Revisited* (pp. 447–471). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Petitto, L. A., Baker, S., Baird, A., Kovelman, I., and Norton, E. (2004, February). Near-infrared spectroscopy studies of children and adults during language processing. Presentation at the International Workshop on NearInfrared Spectroscopy, Cambridge, MA.

Petitto, L. A., Baker, S., Kovelman, I., and Shalinsky, M. (in preparation). NearInfrared Spectroscopy studies of children and adults during language processing. Manuscript in preparation.

Petitto, L. A. and Dunbar, K. (in press). New findings from Educational Neuroscience on bilingual brains, scientific brains, and the educated mind In K. Fischer and T. Katzir (eds.). *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, & Education.*

Petitto, L. A. and Holowka, S. (2002). Evaluating attributions of delay and confusion in young bilinguals, *Sign Language Studies*, 3 (1), 4–33.

Petitto, L. A., Holowka, S., Sergio, L., and Ostry, D. (2001). Language rhythms in babies' hand movements. *Nature*, 413, 35–36.

Petitto, L. A., Holowka, S., Sergio, L., Levy, B., and Ostry, D. (2004). Baby hands that move to the rhythm of language: Hearing babies acquiring sign languages babble silently on the hands. *Cognition*, 9, 43–73.

Petitto, L. A., Katerelos, M., Levy, B., Gauna, K., Tetrault, K., and Ferraro, V. (2001). Bilingual signed and spoken language acquisition from birth: Implications for mechanisms underlying bilingual language acquisition. *Journal of Child Language*, 28 (2), 1–44.

Petitto, L. A. and Marentette, P. (1991). Babbling in the manual mode: Evidence for the ontogeny of language. *Science*, 251, 1493–1496.

Petitto, L. A., Zatorre, R., Gauna, K., Nikelski, E. J., Dostie, D., and Evans, A. (2000). Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people while processing signed languages: Implications for the neural basis of human language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97 (25), 13961–13966.

Petitto, L. A., Zatorre, R. J., Nikelski, E. J., Gauna, K., Dostie, D., and Evans, A. C. (1998). By hand or by tongue: Common cerebral blood flow activation during language processing in signed and spoken languages. *NeuroImage*, 7 (4), 193.

Polka, L. and Werker, J. F. (1994). Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 421–435.

Ramus, F., Hauser, M. D., Miller, C., Morris, D., and Mehler, J. (2000). Language discrimination by human newborns and cotton-top tamarin monkeys. *Science*, 288, 349–351.

Saffran, J. R., Aslin, R. N., and Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, 1926–1928.

Sakatani, K., Chen, S., Lichty, W., Zuo, H., and Wang, Y. P. (1999). Cerebral blood oxygenation changes induced by auditory stimulation in newborn infants measured by near infrared spectroscopy. *Early Human Development*, 55 (3), 229–236.

Shaywitz, S., Shaywitz, B., Pugh, K., Fulbright, R., Constable, R., Mencl, W., Shankweiler, D., et al. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 2636–2641.

Stager, C. L. and Werker, J. F. (1997). Infants listen for more phonetic detail in speech perception than in word learning tasks. *Nature*, 388, 381–382.

Villringer, A. and Chance, B. (1997). Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. *Trends in Neuroscience*, 20 (10), 435–442.

Waters, R. S. and Wilson, J. R. (1976). Speech perception by rhesus monkeys: The voicing distinction in synthesized labial and velar stop consonants. *Perception and Psychophysics*, 19 (4), 285–289.

Werker, J. F., Cohen, L. B., Lloyd, V. L., Casasola, M., and Stager, C. L. (1998). Acquisition of word-object associations by 14-month-old infants. *Developmental Psychology*, 34, 1289–1309.

Werker, J. F. and Lalonde, C. E. (1988). Cross-language speech perception: Initial capabilities and developmental change. *Developmental Psychology*, 24 (4) 672–683.

Werker, J. F. and Stager, C. L. (2000). Developmental changes in infant speech perception and early word learning: Is there a link? In J. Pierrehumbert and M. Broe (eds.), *Papers in Laboratory Phonology* 5, (pp. 181–193). Cambridge: Cambridge University Press.

Werker, J. F. and Tees, R. C. (1983). Developmental changes across childhood in the perception of non-native speech sounds. *Canadian Journal of Psychology*, 37 (2) 278–286.

(1999). Experiential influences on infant speech processing: Toward a new synthesis. In J. T. Spence (ed.), *Annual Review of Psychology*, Vol. 50 (pp. 509–535). Palo Alto, CA: Annual Reviews.

Zaramella, P., Freato, F., Amigoni, A., Salvadori, S., Marangoni, P., Suppjei, A., et al. (2001). Brain auditory activation measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) in neonates. *Pediatric Research*, 49 (2), 213–219.

第十四章

阅读与算术的神经限制：教育是“神经元再利用”的过程

Stanislas Dehaene

概述

认知神经科学在行为的生物学基础及文化、经验基础的争论之外指明了道路。Dehaene 的观点很有说服力，他认为阅读与算术这类文化工具直接建立在婴儿与其他哺乳动物都有的脑基本加工过程的基础之上。关于学习与教育争论中的普遍观点如今似乎已经过时，比如认为心理/脑在出生时是一块白板，具有天生、固定的心理器官，脑是一台学习机器，它几乎能学习任何东西。关于算术中的基本数字以及字母表中的字母形式，证据都很清楚。灵长类动物及婴儿顶叶的一些特定皮层区能够自动侦查数量，即使它并未接触过阿拉伯数字。的确，甚至有特定的神经元对应 1—5 的不同数量。这些区域受损会导致失算症（acalculia，一种数字缺陷）。对于阅读，有些特定视觉区负责物体再认并记录空间外观的细节，这不随大小、位置或对称性而改变。这些神经网络似乎是构建字母形状的基础，进而建构起儿童字母学习的能力。这些脑区受损会导致失读症（alexia）或阅读障碍（dyslexia）。对于数学和读写能力，文化客体（数字和字母）都利用了脑中已有的结构。从这个意义上，教育可以被理解为一种基于皮层结构的“神经元再利用的过程”。

——**编者**

脑的研究与教育有什么关系？许多父母及教育者并不明白。当然，没有人否认，归根结底，儿童学习与记忆的生物基础是脑。然而，这一生物基础似乎与学校中的日常事件相距甚远。人们通常认为就算生物因素会对教育产生制约，这种制约也是微乎其微的。

在此观点的背后，我经常看到教育者对于脑有一种内隐的模型，即**白板论**（tabula rasa）或“白板”（blank slate）（Pinker，2002），认为人脑能通过教育及课堂实践来填充。鉴于此，在动物界中，只有人脑具有接受教育的能力，这种能力的基础是人类独有的皮层可塑性。人脑通过学习几乎能具有无限的新功能。根据这种观点，关于脑的知识似乎对教育政策的制定没有帮助。　233

尽管这种观点在此处是以某种讽刺的形式出现，但它与现代联结主义或新构造主义的一些观点相差不大（如 Quartz & Sejnowski，1997）。它也得到了一些表面看来无懈可击的逻辑推理的支持。按照这种推理，目前多数课堂教学内容包括了近代的文化发明，如在书写或数学中使用的符号。这些文化工具出现得太晚，所以不能对脑的进化产生任何影响。例如，阅读在 5 400 年前才出现，符号性运算的出现则更晚：阿拉伯数字及其多数运算法则直到 1 000 年前还没有出现（参见 Wolf，本书）。因此，从逻辑上讲，不可能有哪个专门的脑机制是为阅读或符号运算进化而来。这些技能需要学习，就像地理、历史、语法、哲学等中无数其他的事实和技能。儿童能够学习这些材料表明脑就是一台强大的万能学习机器。

尽管这种基于学习的理论或许能解释人类的许多文化能力，该理论同时指出人脑执行这些能力时的个体差异是很大的。根据个体的学习历史，同一个脑区可能会负责多种功能。在学习中，随机对称性的打破或许最终导致了不同的能力由各自专门的脑区来负责，但是对于不同的个体，这种专门化可能是随机确定的。因此，不可能找到通过繁衍（reproducible）而传递的近代文化活动（如阅读与算术）的脑机制。

然而，这种预测就是一种悖论。正如我在本章后面要讲到的，最近，大量的神经影像及神经心理学发现使我们对人脑学习新文化内容（如阅读与算术）的能力有了新的认识。这些证据不支持无偏性白板说。心理学、认知心理学及脑成像证据都表明，成人脑具有负责阅读与算术的专门机制。不同个体中占有某种固定位置的较小的皮层区会参与到这些任务中。这些脑区会自动实现其功能，通常不需要意识的参与。此外，这些脑区受损会导致特定的阅读或计算能力受损。简言之，这些证据似乎表明阅读与算术具有不同的、固定的及特异性的脑基础（Wolf，Petitto，& Goswami，本书）。　234

严格检验这些脑区在进化中的功能为解决这一悖论提供了可能。这些脑区并非习得了完全不同的、具有文化任意性的新功能。确切地说，对于其他哺乳动物，这些脑区似乎就已经具有了与这些新功能密切相关的早期功能。此外，使这些脑区可以高效加工人类文化工具的许多功能特征早已存在。这些脑区只需要作相当小的改变就足以适应新的文化领域。因此，根据人类文化学习能力依赖于大脑已有神经环路的先占式（pre-empting）或再利用过程，我在结论部分尝试提出"神经元再利用"假设。我认为，该观点意味着理解儿童大脑的组织方式对教育至关重要。

计算的神经基础

在世界各地，许多神经影像研究都考察了成人加工简单算术任务时的大脑活动。目前，功能磁共振成像技术（fMRI）可以使我们得到关于血氧的一系列全脑影像，血氧与神经元活动紧密相连，该技术的时间分辨率可以达到几秒钟。它足以考察相对于控制条件（如被试只简单地命名数字而不计算）被试进行简单的减法运算（如 7 减 2）时哪些脑区被激活。这些研究的成果是发现了心理上进行算术运算的高度固定的脑基础（Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003）。一系列固定的脑区在算术过程中会有系统性的激活，其中左、右顶内沟及左、右前中沟激活最显著（参见图 14.1）。现在只需要几分钟的测验就能分离每个被测个体的这一神经网络，在标准脑坐标中该变异仅有几厘米。

235

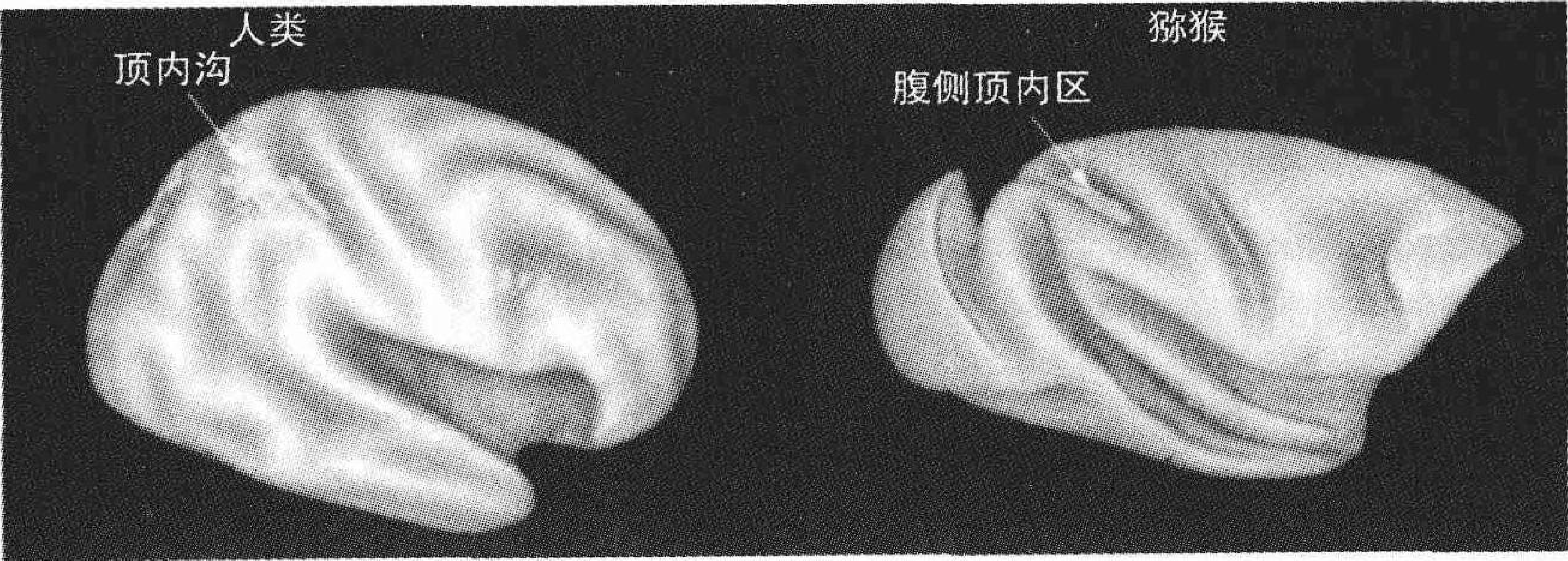


图 14.1　图中左边表示人类在完成各种算术任务时被激活的脑区（根据 Dehaene et al., 2003 重新绘制），右边表示猕猴负责编码数字的神经元的位置（根据 Nieder & Miller 重新绘制，待发表）。可以发现，这两个物种参与数字加工的顶叶区似乎是相同的。

许多实验室都发现顶—前中神经网络负责算术运算，被试来自不同的国家，有着迥然不同的语言和教育体系（例如，中国、日本、法国及美国）。该

网络中的顶叶区似乎在所有的算术任务中都有激活。在计算（如减法、加法、乘法）或估算（如21+15更接近40还是90?）任务中该区的激活最强(Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu, & Tsivkin, 1999)。然而，当被试仅需要在视觉或听觉信息流中识别数字的情况下，顶叶区与数字有关的激活也可以由一种完全自动化的方式引发（Eger, Sterzer, Russ, Giraud, & Kleinschmidt, 2003)。事实上，仅以非常短暂的持续时间阈下呈现阿拉伯数字就足以引起该区的激活（Naccache & Dehaene, 2001)。这些结果提出了一个深层悖论：为什么同一个脑区能够以高度自动化的方式系统地参与到阿拉伯数字的加工中，而对于字母，同样是一种任意性的文化结构，却无法引起该区的激活？

有研究者提出了一个简单却富有成效的假设，或许可以初步解决这一悖论(Dehaene, 1992, 1997; Gallistel & Gelman, 1992)。它假定，尽管阿拉伯数字与口头数字都具有文化任意性，并且是人类特有的，但是对数量的意识是不变的。这种“数感”（number sense）在很小的婴儿及动物身上都存在。我们学会给符号赋予意义并通过将它们与已有的数量表征相连来进行计算。

许多实验支持这一观点，动物及婴儿对数字都有一种初步的、非言语的意识。鸽子、老鼠、海豚、猴子及类人猿都能感知一系列视觉或听觉对象的“数量”（numerosity)，最高甚至可达40或50。同样，6个月大的婴儿就能感知，比如计算机屏幕上8个和16个圆点的差别（Lipton & Spelke, 2003)。当然，他们的这种能力不如成人精确，因此不能进行复杂的数字计算。动物及婴儿都不能分辨两个相邻的数字，如36和37，他们对数量只有一种近似的感觉，而且当数字增大时，这种感觉将逐渐变得粗略（韦伯定律)。

这种近似表征在成人身上依然存在，不仅感知物体时如此，即使加工符号数字时也是这样。我们依赖这种“数感”的标志是数字对比中的距离效应。在判断两个阿拉伯数字中哪个更大时，相对于距离较近的数字（如8和9，或51和65)，我们对距离较远的数字（如1和9，或31和65）判断更快。这种差异在计算机上进行的数字对比算法中就不存在。这表明，即使当脑接受符号输入时，也能迅速将数字转换成内部近似的数量编码，在这样一种内部的“数轴”中，相近数量通过相似分布的激活进行编码。

在过去几年中，关于数量编码在神经水平上如何进行，我们开展了许多研究。Andreas Nieder 与 Earl Miller（Nieder, Freedman, & Miller, 2002; Nieder & Miller, 2003, 出版中）进行了清醒猴子训练完成视觉数字匹配（match-to-sample）任务时的单细胞记录。许多神经元都对特定数字有偏好：有一些神经元对数量为1的物体优先反应，另一些则对数量为2的物体优先反应，最高的

236

还有对数量为 5 的物体优先反应。这种反应是粗略的，而且当数量增加时会变得越来越不精确。神经编码的这种特性正好符合了神经网络模型的预期，人们用这些模型来解释成人及婴儿数字加工的距离效应以及其他特性（Dehaene & Changeux，1993）。更重要的是，这些数字神经元的位置在哪里。最初，研究者在背外侧前额叶皮层发现了较大的比例，但是最近在顶叶发现了另外一些有更短潜伏期的神经元（Nieder & Miller，2005；Sawamura，Shima，& Tanji，2002）。这些神经元位于 VIP 区，在顶内沟深处，该区似乎在许多数字任务中被激活。

有人也许会因此提出人类算术习得的一种简单推测。进化为灵长类的顶叶赐予了粗略数字表征的能力，这也许在许多情境下都很有用，如在一定时间内必须对一组物体或同类物体进行追踪。人类也存在这种原始的数字表征能力。237 这种能力在婴儿时期就出现了，尽管最初准确性还相当一般，但它会在第一年中持续发展（Lipton & Spelke，2003）。它为儿童进行算术运算提供了最低的基础：追踪少量物体的能力，以及监控数量的增加或减少。第一年，这种知识完全是非言语的，但是大概经过三年，它们就会与符号建立联系，首先是口语数词（以代替手指），然后是书面阿拉伯符号。

因此，也就不奇怪为什么阿拉伯数字及其计算最终都与有限的脑区相联系，而且所有个体都是如此。的确，该脑区并非是通过算术“训练”而出现的。确切地说，它从一开始就存在，并且随着与其他脑区的符号系统建立联系而逐渐被修饰，从而赋予数字以意义。

这种推测不仅可以描述一般数字发展，而且还可以预测特定算术障碍的存在。对于成人，一些脑区受损会导致失算症（acalculia），这是一种选择性的算术障碍（Dehaene，Dehaene-Lambertz，& Cohen，1998）。尤其是顶内沟受损，会引起严重的加法和减法运算缺陷，而且基本的数字理解如近似、数量估计和比较能力也会受损（Lemer，Dehaene，Spelke，& Cohen，2003）。重要的是，儿童中也有人患有类似症状，被称作发展性计算障碍（developmental dyscalculia）（Shalev，Auerbach，Manor，& Gross-Tsur，2000）。有些儿童从出生起在算术学习中就遇到了严重的困难。然而，他们或许智力正常，社会背景正常，而且不一定有阅读或注意的联合缺陷。他们中有一些人的缺陷甚至会影响非常基本的任务。他们不能判断一个系列是由 2 个还是 3 个物体构成，或者 5 和 6 哪个数字更大（Butterworth，1999）。因此我们自然会假设：数量表征会受到基因疾病或早期脑损伤的影响。

最近，关于计算障碍的两个认知神经科学研究证实了该假设。其中一个研

究中（Isaacs，Edmonds，Lucas，& Gadian，2001），出生时为早产儿的青少年被分为两组，即在儿童期经历过计算障碍与没有经历过计算障碍两组。通过磁共振成像技术来评估皮层的灰质密度。发现计算障碍者左侧顶内沟灰质密度选择性降低，而正常成人进行心理算术任务时恰恰是在该区出现激活。第二项研究（Molko et al.，2003）对比了患有特纳氏综合征（Turner's syndrome）这种基因疾病的年轻女性与控制组在解剖和功能磁共振方面的差异。发现患者右侧顶内沟的皮层结构异常，而且在较大的数字加法计算中，该区的激活也不正常。

238

目前仍然不清楚为什么计算障碍有时会影响左侧或右侧顶叶，也不知道计算障碍儿童中哪一部分确定有脑损伤。然而，的确存在这样一类儿童，他们的智力和教育环境正常，但是却有不相称的算术缺陷，这否认了算术教育是以领域一般的学习机制为基础的观点。确切地说，应该存在一个关于数量的范围更窄的、专门的预表征（pre-representation），它有特定的脑结构，是算术学习的先决条件。所有人都可能形成数学这一能力，前提是数学能力发展的脑机制没有问题。

阅读的脑基础

数字是周围环境的基本参数，因此或许并不奇怪我们的脑在进化中已经为数字表征做好了准备。但奇怪的是，在阅读领域也有类似发现。阅读大约在5 400年前出现，直到近代，它在人类文明中的比重并不大。因此，人类没有时间或压力为阅读进化出神经回路。的确，阅读的原则是各种技巧的混合体，不同文化之间变化很大。它们运用各种视觉形状将文字的图形与描述语音元素的各种可能性（从整词到音节、韵脚或音素）结合起来。尽管智人已经进化出了确定的语言加工的皮层机制，这是人类的独特特征，但是在视觉方面，他们的脑似乎不可能为阅读系统的任意性做好准备。

尽管这些观点表面看来是符合逻辑的，但是脑成像研究已经找到了一个惊人的稳定的神经系统，它负责阅读的视觉加工阶段，被称作“视觉词形”系统。只要优秀的阅读者看到一个书面单词，就会在左半球腹侧视觉区出现激活，该区位于枕颞沟（Cohen & Dehaene，2004）。这一激活在不同个体间的差异只有几毫米（参见图 14.2）。此外，所有文化背景下的阅读者都会出现该区的激活，包括希伯来语从右到左的文字，也包括非拼音文字如汉语和日语阅读系统（Paulesu et al.，2001）。

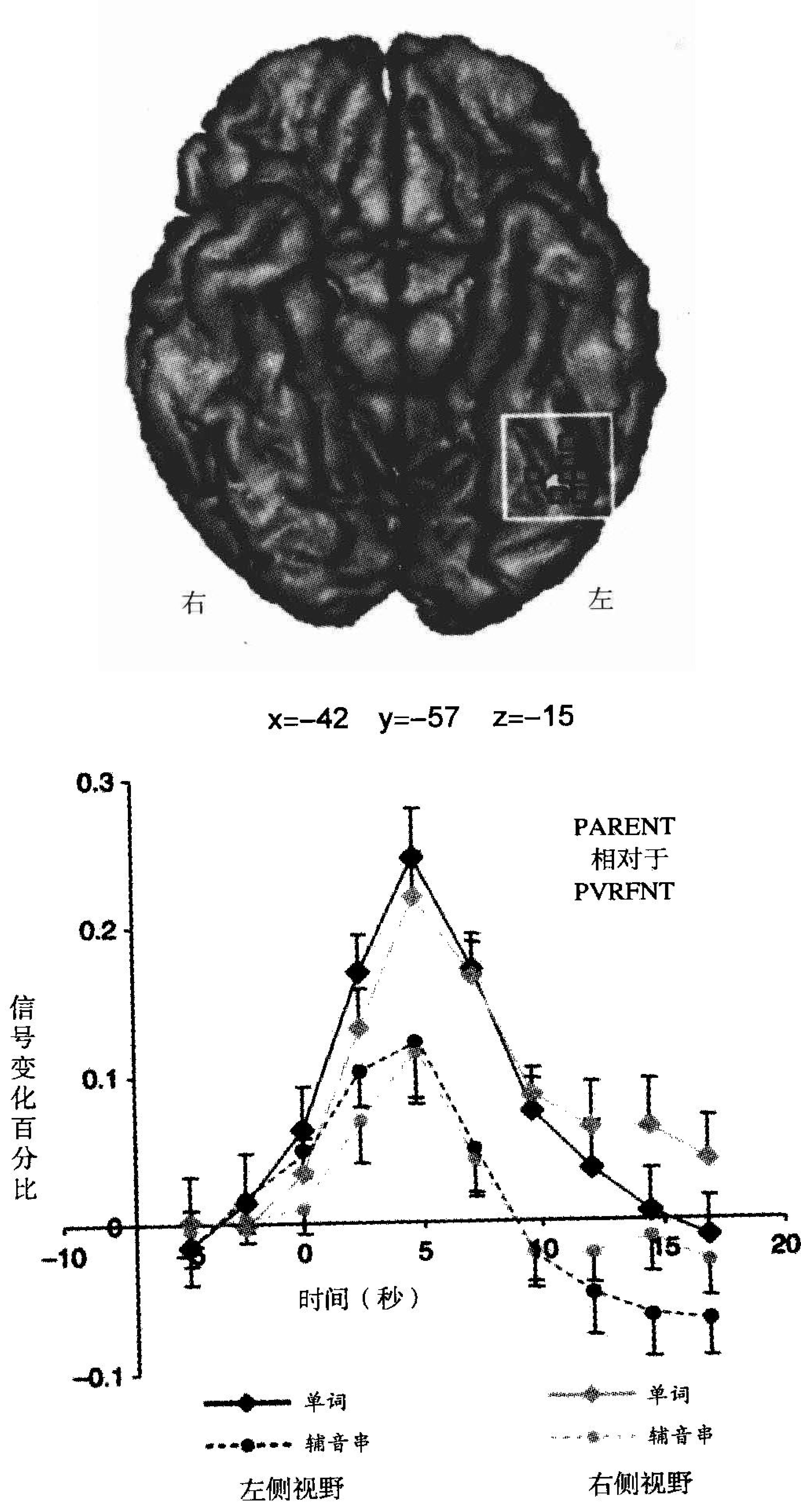


图 14.2 人类“视觉词形区”的位置与属性（改编自 Cohen et al.，2002）。上面的图表示视觉呈现的单词在左侧枕颞沟引起的激活位置（每一个点代表不同被试的激活位置）。下面的图表示该区的 fMRI 激活情况。该区对单词的反应比对辅音串的反应更强，表明该区由于文化的限制只能识别被试能够阅读的文字。单词呈现在左、右视野时引起的反应是一样的，说明该区已经实现了空间上的恒定性。

该区对阅读也表现出特异性。例如，它与观看面孔时更靠近内侧的激活是截然不同的。它对真字母串的反应要比对形状类似的假字母串的反应更大；或者对真词的反应要比对不能组成可发音单词的辅音串的反应更大（Cohen et al.，2002；参见图 14.2）。在那些罕见的可以进行颅内记录的病例中，也出现了支持视觉皮层存在微小区域对单词有偏好性或专门性反应的证据（Allison，Puce，Spencer，& McCarthy，1999）。 240

同时，也存在功能特异性证据。阅读提出的几个计算问题似乎通过枕颞皮层精巧的适应机制得以解决。问题之一是位置不变性：不论单词在视网膜上的位置如何，都能被识别。视觉词形区通过恰当的皮层内和胼胝体纤维在数十毫秒内收集左右半球的激活从而实现位置不变性（Molko et al.，2002；参见图 14.2）。另一个问题是字体和大小写的变异。同一个单词的大小写会有截然不同的视觉形式，例如 RAGE 和 rage。大小写之间的映射是一个文化习俗问题，且必须经过后天习得。然而，脑成像研究表明，大小写一恒常性表征在阅读早期通过一系列专门的字母—侦察神经元而建立起来（Dehaene et al.，2004）。字母—侦察神经元位于视网膜中央凹的不同位置，并且平行工作。视觉单词的识别十分有效，以至于视觉词形区能在单词呈现 29 毫秒时以阈下方式被激活（Dehaene et al.，2001）。

最后，就像算术一样，对于阅读而言，也有证据表明脑损伤会选择性地损伤阅读的视觉加工阶段。Déjerine（1892）报告了第一个“纯失读症”（pure alexia）案例，这是一种选择性阅读损伤，其言语产出、言语理解，甚至书写都没有问题。此后研究者又发现了许多案例。纯失读症由左半球腹侧枕颞区受损引起，这影响了视觉皮层区，而正常被试阅读时会在该区产生激活（Cohen et al.，2003）。除了阅读，其视觉加工依然完好，包括面孔与物体识别。尽管病人仍然能识别单个字母，每次一个，但是他们不能同时加工字母从而立即识别整词。此外，他们不能再恢复流畅阅读，即使在损伤之后许多年也不行。对比他们依然保留的视觉物体识别能力以及受损的阅读能力可以发现，有一个专门化的系统丧失了——一个负责视觉单词识别的迅速、专门、固定的“心理器官”，即使这个系统逻辑上似乎不可能存在。 241

就像计算能力一样，解决这一悖论需要考虑灵长类动物的视觉词形系统最初的功能。灵长类动物已经具备恒定单词识别系统的许多属性——只不过是用来识别物体与面孔，而非单词。灵长类的整个枕颞通路与视觉再认有关。它已经进化为“是什么”（what）系统，能够恒定地识别面孔与物体，与此相对，背侧“位置”（where）系统则负责物体定位及在运动行为中运用定位信息。

对于猕猴腹侧视觉通路的神经元组织人们已经有许多了解，该通路存在一个抽象性与恒定性逐渐增加的神经元层级。有些神经元只对物体的一部分有反应，其感受野相对较窄——例如它们或许对呈现于视网膜特定位置的眼睛的形状敏感。而另一些则对更大的轮廓有反应，例如面孔或灭火器的外形。最后，还有一些神经元对特定的人有反应，不管是以面孔还是轮廓的形式出现。这些估算以轻松、无意识的方式进行，甚至会出现在麻醉的猴子身上。

Tanaka 与同事（Tanaka，1996）研究了能使猴子枕颞神经元放电的最少的物体特征。为实现该目的，他们使用了逐渐简能化程序。第一，呈现许多物体，直到发现一个物体确实能引起特定神经元放电。然后，简化物体的形状，同时尽量保证最优的神经元反应。当保证神经元能够放电而形状不能被进一步简化时，就认为发现了神经元可以作出反应的最简单特征。奇特的是，这些形状中有许多都与字母类似：有些神经元对形状如 T 的两条线有反应，另一些则对一个圆或者构成数字 8 形状的两个叠加的圆有反应，等等。显然，猴子并没有把这些形状当作字母来学习。确切地说，它们在个体发生（ontogeny）和/或种系发生（phylogeny）的过程中出现，作为一种简单的形状库（repertoire）用来代表各种自然形式和物体形状。

颞下神经元的另外一个核心特征是它们具有可塑性。使用任意图形如分形（具有某种相似性结构的集合——译者注）（Miyashita，1988）或随机折叠的回形针（Logothetis，Pauls，& Poggio，1995）进行的训练研究表明，所有的神经元最终都对这些图形有很高的反应性，然后将这些图形的位置、大小及视角的恒常性等属性迁移到这些图形中。在某些情况下，细胞能够对训练中任意两个成对的图像作出反应。这种配对能力是学习将 A 与 a 识别为同一个字母或确定/house/的读音与 HOUSE 单词指代同一个单词的潜在基础。

最后，负责视觉再认的面积较大的皮层区中为什么会有一个特定的视觉词形区？最近，Hasson、Malach 及合作者的神经成像研究（Hasson，Levy，Behrmann，Hendler，& Malach，2002；Malach，Levy，& Hasson，2002）开始解释这一惊人的发现。该小组描述了横穿整个视觉区的大尺度的梯度性或偏向性（biases），而且这或许通过扩散成形素（图灵机模型）在发展的早期就被确定好了。其中一个倾向就是视网膜偏心性：有些皮层区对中央凹有偏好性反应，有些则对视网膜边缘有偏好性反应。很明显，就像面孔识别区，视觉词形区也系统地占据这一倾向性梯度的中央凹敏感峰值。由于单词与面孔识别会利用中央凹刺激的精细的细节（特征），这一点能够说得通。另一方面，地点与房屋的识别需要在视野更大范围中整合信息，并激活梯度的外围峰值。因此，似乎每种物体

都能通过预先有偏向的神经元来习得——这种偏向可以解释视觉词形系统严格而可再现的位置，而不用假设存在先天阅读的“心理器官”。

总之，与算术相似，阅读也不只依赖于领域一般性的学习机制。确切地说，我们之所以能学习阅读或许是由于视觉系统已经具有某种专门化的机制，它负责形状恒常性的识别，以及在这些识别的形状与物体的听觉表征及抽象语义表征之间建立恰当的联结。学习或许还是由于进化已使该系统具有高度可塑性。尽管我们不是生来就有字母侦察器，但是字母与颞下区中易于习得的并与读音形成映射关系的标准形状十分类似。在我们学习阅读时，会占用该系统的一部分，而非重新创造一个“阅读区”。

243

实际上，尽管人脑没有专门为阅读而进化，但也许出现了相反的事：文字系统的文化进化至少部分地被脑学习该系统的便易性与速度所塑造。因此，几个世纪以来，我们最终选择的字母形状能够很好地与视觉系统对物体编码时自发使用的形状相匹配。

结论：把教育看作“神经元再利用”的过程

本章所关注的算术与阅读领域表现出明显的共性，但同时也有重要的差异。在这两个领域中，人类都学会赋予常用形状（阿拉伯数字或字母）以意义，且最终以一种高效甚至是阈下的方式进行。此外，与这些文化活动相关的脑激活是非常容易再现的。最后，有关脑区在灵长类动物的进化中已经被证明具有了显著相关的功能。然而，算术与阅读之间还是有重要的差异。一方面，灵长类动物的进化中，负责算术的脑区有一个真实存在的前身。灵长类动物的顶内皮层似乎已经参与数字表征，且数字符号与该表征之间的文化映射只是显著增强，但没有从根本上改变其计算能力。另一方面，视觉词形区的前身最初则与阅读无关。该区最初负责物体再认，该功能明显不同于书面语言和语音、语义之间的映射关系。

通过概括这两个例子，我试探性地提出人类习得新文化客体的能力依赖于神经元的“再转化”（reconversion）或“再利用”（recycling）过程，这些新客体借此占据了一些最初负责相似或相近功能的皮层区。根据这一观点，我们的进化过程以及我们的遗传组织共同确定了一个皮层结构。它既是限制性的，又具有部分可塑性，从而限定了可学习客体的范围。新的文化习得只有当它们能够适应脑结构中已有的限制时才成为可能。

有必要将“神经元再利用”模型与其对立观点——有点滑稽的脑“白板”

模型作一对比。后者将教育比作填充一个空白的脑空间，它可以吸收任何教育
244 类型。但是教育者知道课堂里的情况并非如此（参见 Bruer，本书）。现实中的儿童要比白板模型预期的更有天赋，偶尔还对变化有更强的抵抗性。根据“神经元再利用”模型，儿童的直觉和偶尔的固执都可以理解为已有脑结构的作用。在许多情况下，我们从灵长类进化中继承的脑表征都可以促进学校学习。尤其是数学教育会利用这种早期的直觉，这可能会扩展到数量维度之外的科学和数学的许多其他领域，包括空间、时间、力，等等。

然而，在另一些情况下，教育则必须克服儿童对某个领域的直觉理解，甚至还要与脑中已有的偏向积极作斗争。例如，在算术中，脑似乎对数量的自然表征最初不可能表征零、负数或分数。因此儿童的直觉必须扩展到这些情况中，这是一件困难的事，也是数学史上的一个主要障碍——但是或许可以通过教授恰当的比喻来解决，比如将负数看作数轴向左侧的延伸。

阅读中也存在类似的情况。对儿童来讲一个可能的困难来自于他们不得不忘却视觉系统自发获得的一种恒定性：左右对称的恒定性。有证据表明，初级视觉系统一旦学会识别一个形状，就会自动推广到相应的对称性形状（Baylis & Dreiver，2001；Noble，1968；Rollenhagen & Olson，2000）。然而，要知道 p 和 q 以及 b 和 d 是无关字母时，这种能力实际上是起反作用的。与神经元再利用模型一致，即使不是全部儿童，也会有许多儿童似乎都要经过一个阶段，他们会无意识地犯左右颠倒的错误，而且慢慢才能明白这种概括化在阅读中是不恰当的（McMonnies，1992）。

另外，阅读中更核心的限制可能是拼音文字系统要将字母的字形与语音、音素建立映射，而听觉系统最初并不具备这种能力。要理解音素是什么，并将音素表征与抽象的字母形状相连，似乎是许多儿童的主要困难。（参见 Usha Goswami，本书中的章节）。的确，这可能是发展性阅读障碍儿童阅读困难的最重要的一个原因。

245 这些例子告诉我们，理解儿童的最初表征以及这些表征在学习过程中如何被修饰，将成为促进语言和数学基础教育的核心。我选择了两个特定的领域——算术与阅读，但是在第二语言学习以及数学的许多其他方面也可以得出类似的观点。不管什么情况下，通过理解脑变化的最初状态、发展轨迹及最终状态，教育者都可以获益颇多。最后，教师也必须意识到有一小部分儿童的确存在脑损伤，虽然这不影响一般智力，但会限制他们学习特定领域的知识。同样，在该领域中，理解这些病症的脑基础也能增强我们克服病症的能力。

参考文献

Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D., and McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli. *Cerebral Cortex*, 9 (5), 415–430.

Baylis, G. C. and Driver, J. (2001). Shape-coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure-ground reversal. *Nat Neurosci*, 4 (9), 937–942.

Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain.* London: Macmillan.

Cohen, L. and Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: The case for the Visual Word Form Area. *NeuroImage*, in press.

Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., and Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125 (Pt 5), 1054–1069.

Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehéricy, S., Samson, Y., Obadia, M., et al. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex*, 13, 1313–1333.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1–42. (1997). *The Number Sense.* New York: Oxford University Press.

Dehaene, S. and Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 390–407.

Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., and Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neuroscience*, 21, 355–361.

Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., et al. (2004). Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science*, in press.

Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Bihan, D. L., Mangin, J. F., Poline, J. B., et al. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nat Neurosci*, 4 (7), 752–758.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., and Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487–506.

Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., and Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284 (5416), 970–974.

Déjerine, J. (1892). Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mémoires de la Société de Biologie*, 4, 61–90.

Eger, E., Sterzer, P., Russ, M. O., Giraud, A. L., and Kleinschmidt, A. (2003). A

supramodal number representation in human intraparietal cortex. *Neuron*, 37 (4), 719-725.

Gallistel, C. R. and Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44, 43-74.

Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T., and Malach, R. (2002). Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas. *Neuron*, 34 (3), 479-490.

Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A., and Gadian, D. G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain*, 124 (Pt 9), 1701-1707.

Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E., and Cohen, L. (2003). Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems. *Neuropsychologia*, 41, 1942-1958.

Lipton, J. and Spelke, E. (2003). Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychological Science*, 14, 396-401.

Logothetis, N. K., Pauls, J., and Poggio, T. (1995). Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys. *Curr. Biol.*, 5 (5), 552-563.

Malach, R., Levy, I., and Hasson, U. (2002). The topography of high-order human object areas. Trends *Cogn. Sci.*, 6 (4), 176-184.

McMonnies, C. W. (1992). Visuo-spatial discrimination and mirror image letter reversals in reading. *J. Am Optom Assoc.*, 63 (10), 698-704.

Miyashita, Y. (1988). Neuronal correlate of visual associative long-term memory in the primate temporal cortex. *Nature*, 335 (6193), 817-820.

Molko, N., Cachia, A., Riviere, D., Mangin, J. F., Bruandet, M., Le Bihan, D., et al. (2003). Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron*, 40 (4), 847-858.

Molko, N., Cohen, L., Mangin, J. F., Chochon, F., Lehéricy, S., Le Bihan, D., et al. (2002). Visualizing the neural bases of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 629-636.

Naccache, L. and Dehaene, S. (2001). The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals and abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex*, 11 (10), 966-974.

Nieder, A., Freedman, D. J., and Miller, E. K. (2002). Representation, of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 297 (5587), 1708-1711.

Nieder, A. and Miller, E. K. (2003). Coding of cognitive magnitude. Compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex. *Neuron*, 37 (1), 149-157.

Nieder, A. and Miller, E. K. (2005). Neural correlates of numerical cognition in the neocortex of non-human primates. In S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser and G. Rizzolatti (eds.),

From Monkey Brain to Human Brain. Cambridge: MIT Press.

Noble, J. (1968). Paradoxical interocular transfer of mirror-image discriminations in the optic chiasm sectioned monkey. *Brain Res*, 10 (2), 127-151.

Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswich, N., et al. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science*, 291 (5511), 2165-2167.

Pinker, S. (2002). *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*. London: Penguin Books.

Quartz, S. R. and Sejnowski, T. J. (1997). The neural basis of cognitive development: a constructivist manifesto. *Behav. Brain Sci.* 20 (4), 537-556; discussion 556-596.

Rollenhagen, J. E. and Olson, C. R. (2000). Mirror-image confusion in single neurons of the macaque inferotemporal cortex. *Science*, 287 (5457), 1506-1508.

Sawamura, H., Shima, K., and Tanji, J. (2002). Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey. *Nature*, 415 (6874), 918-922.

Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O., and Gross-Tsur, V. (2000). Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *Eur. Child Adolesc.* Psychiatry, 9 (Suppl 2), II, 58-64.

Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object vision. *Annual Review of Neuroscience*, 19, 109-139.

译后记

最近几十年来，认知科学、神经科学和教育学等相关学科的长足进步以及全球化社会中频繁的信息交流，大大促进了不同学科之间的沟通与融合。在这种形势下，整合心理、脑与教育（MBE）的研究已经成为国际教育研究界的一道亮丽的学术风景线。在心理、脑与教育的整合中，有两个不同的名称："神经教育学"强调以教育学为核心的跨学科整合，而"教育神经科学"的核心是整合教育学的神经科学。本书运用"神经教育学"一词来指代这个新兴的领域。本书的出版标志着神经教育学的诞生！

神经教育学这一新兴的研究领域不仅纳入了与人类文化一样博大精深的教育学，而且还包括了现代神经科学的各个层面的研究：从分子到基因，从突触到人工神经网络，从反射到行为，从动物研究到人类脑成像研究。但是神经教育学这一新兴领域的研究并不是一个包罗万象的新范式，也不是对这些领域中毫不相关的研究成果进行简单的拼接，而是在完全不同的学科之间进行整合，最终将形成一个全新的知识网络系统。这个知识网络系统内外的各有机成分之间相互链接，其功能日渐强大，最终将出现一个良性循环的知识生产有机体。这个知识生产有机体将随着脑科学、认知科学与教育等各个独立学科以及由于整合而产生的新兴学科的发展而不断成长壮大。目前，神经教育学的新发现与新进展激发了全社会的热情与期待。虽然有时这种极大的热情与期待往往有些不切实际，却反映了教育的发展亟待科学的指导，来应对21世纪复杂多变的新形式与新环境。在全球化的进程下，不同的文化、语言和观点的不断交织与融合，不仅使得神经教育学这一研究领域显得更加复杂多样，而且也呈现出一派生机勃发、欣欣向荣的景象。

本书的主要内容侧重这样几个方面。

1. 神经教育学的新观点为教育理论研究奠定坚实的科学基础

神经教育学除了关注脑与认知科学的实证研究技术与证据，同时也关注对

人脑的哲学思考。在历史上，对脑的哲学思考经历了从将脑当作“灵魂的所在地”到“自我的器官”的历史性转变。本书运用“脑格”（brainhood）这一词说明“脑存在的条件”以及“人与脑共存亡”（human being as brain）的事实，强调脑是自我的唯一重要器官。尽管在历史上，哲学家对脑与心智的关系进行了深入的思考，但是直到最近几十年来，才有为数不多的教育者、脑与认知科学研究者运用神经生物学和遗传学的知识来解释学生的学习和思维问题。现在，大批的脑与认知科学研究者利用神经生物学中的研究工具来追踪知识的产生，同时分析种系发展和个体发育之间以及学习和记忆在整个人生中的变化情况。人类脑结构功能的发展与变化不仅取决于基因，还依赖于后天的影响。研究从不同的角度证明，婴儿的脑天生就被赋予了一个异常庞大的信息库。因此，教育不是始于一块“白板”，而是建立在婴儿对自身内部以及外部环境的先天知识的基础之上。神经生物学研究中的这些研究成果为我们描述了人类知识的神经表征方式。对知识加工的脑机制所进行的不断深入的探索也带来了认识论上的变化：“搜寻知识的来源，等同于搜寻脑功能建构的修饰和完善过程。”

从神经科学的角度来理解，教育是一种神经元再利用的过程。根据著名认知神经科学家 Stanislas Dehaene 的观点，在算术和阅读习得方面的研究中，书写单词和数字是近代文化发展的产物。基于人脑特有的能力，人类构建了阅读和数学文化系统。研究发现，灵长类动物和人脑中有特定的皮层区，用于探测数量特征及与书写符号的有关特征。很多物种，包括人类婴儿，天生就具有对数量的意识，数量意识与大脑顶叶（左右顶内沟）的加工有关。在猴子的试验中也发现，顶叶附近的特定神经元群负责 1 到 5 个客体数量的识别（与数字 1 到 5 相联系）。对人类来说，脑的这种功能定位是稳定的，该区域的损伤会形成失算症（不会做算术）。而阅读字母和单词则会激活大脑左腹侧视觉区的一个非常稳定的区域（枕颞沟）。不管阅读者是使用拼音文字还是表意文字，都会在该区域激活。而这一区域的损伤会造成失读症（不能读）。对猴子的研究也表明，具有某个字母特征的形状也会激活猴子特定的枕颞神经元。根据这些证据，Dehaene 提出：“只有当新文化客体适合脑的结构的已有限制时，人类才有可能习得它。”人类之所以能够获得阅读与计算能力，是因为人脑具有对已有的神经通路进行重组的非凡能力。人脑在发育过程中智力发生变化的实质并不是脑中产生了新的结构，而是因为具有这种非凡的重组能力。

阅读是神经教育学研究中积淀最深的一个领域。人们对拼音文字的阅读规律进行了大量的研究。在拼音文字中，儿童必须学会字形—音素这一对应规则

才能学会阅读。音素是发音的最小单位，是获得拼音文字阅读能力的重要成分。儿童学习阅读时可以通过字母来学会音素。在学习阅读之前，儿童就对单词中的音节及“首音”和“韵脚”非常敏感。如，在单词“seat”、“sweet”和“street”中，“首音”对应于前面的辅音音节，如s，sw和str；“韵脚”对应于后面的元音与辅音组合，如s-eat，sw-eet，str-eet。但是，“首音”和“韵脚”是语音流中较大的单位，而字母则是语音流中表征“音素”的较小的单位。对这些小的语音单位或音素的意识一般在学习阅读和书写后才能形成。因此，没有学会阅读的人在音素意识上都表现不佳，但是相对而言，却较容易辨别音节。研究还表明，音素意识的习得比率和技能水平取决于所学语言的正字法。在读和写中，儿童必须将语音系统与正字法对应起来，但不同的语言中语音系统与正字法的对应类型却迥然不同。对儿童来说，正字法一致的语言，如西班牙语的阅读要容易得多。在这类语言中，一个字母固定对应一个独特的音素，且“首音—韵脚”的分割直接对应于音素的分割。而正字法复杂、不一致的语言，比如英语，则会减慢和阻碍音素意识的习得。正字法难度上的差异似乎能解释为什么西班牙语学校比英语学校中患阅读障碍的儿童少。

2. 神经教育学的新发现为教育政策与实践提供科学的依据

科学中的重大挑战之一，就是在基础研究和人类的社会与文化生活之间建立联系。整合认知科学与神经科学的神经教育学也同样面临着这种挑战。本书剖析了国际上教育实践和政策的制定中出现的、错误运用认知神经科学研究成果的方式，这为我国发展神经教育学提供了前车之鉴。例如，视觉皮层区的大量研究证明：在发展的早期会出现机会窗，此时的视觉剥夺将使视觉皮层回路无法得到及时的巩固，视觉功能就会永久丧失。20世纪90年代，美国的许多政策制定者和教育研究者运用这类视觉系统的关键期研究来解释认知发展和终身学习，认为加快脑的新陈代谢、提高突触密度可以促进新概念和技能的习得等。本书对这种观点进行了深入的批判。

感觉剥夺会严重损害记忆以及很多技能的学习。同时，个体的情绪和认知能力也会严重受损。同样，许多城市的喧闹环境剥夺了很多人的睡眠，现代社会24小时连续工作的生活方式也严重地威胁了人类的健康行为。这种作息模式不符合人体内部几百万年的生物适应所形成的生物钟和生物节律。尤其对于青少年而言，由于在学校期间睡眠（由于工作或娱乐）较晚而上课较早，造成了他们的睡眠严重不足，同时也改变了青少年的作息习惯，致使他们一天中的最佳的时间通常在晚上。这就是为什么他们早上感觉困觉，快放学时又变得非常清醒的原因。有关生物钟和生物节律的研究，为学校的决策提供了科学的

依据。学校可以根据这些研究制定科学的学校作息时间表，从而提高学生学习的效率。因此，神经科学的研究有助于提高儿童和青少年的学业成绩。

另外，神经教育学的研究对于学习困难儿童的矫治具有重要的理论价值与实践意义。例如在阅读困难的研究中发现，语音层面上的任何缺陷都会导致特殊形式的阅读障碍。研究发现，阅读障碍者难以表征母语单词的发音形式，是由于其在音律计时上存在缺陷。而这是由于阅读障碍儿童的听觉系统不够成熟造成的，而不是听觉系统的异常引起的。根据语音层面阅读障碍的这些科学研究成果来对这类阅读障碍学生进行矫治中取得了成功。但是有些形式的阅读障碍却不能单纯用语音缺陷来解释。比如，阅读需要对命名速度有影响的、独立于语音系统的快速自动加工。这种加工上的缺陷就需要采用不同的矫治方法。Maryanne Wolf 的双缺陷假设（Double Deficit Hypothesis）将阅读障碍分为三种类型：语音损伤的孩子、快速自动加工有缺陷的孩子及同时具有上述两种缺陷的孩子。第三组孩子在阅读流畅性和理解上都有深度缺陷，需要进行全面的干预。语言的正字法、语音、语义、句法等成分之间相互作用会影响阅读的流畅性水平。根据这一认识，Wolf 和同事们开发的 RAVE-O 项目［这个缩写取自这些单词：Retrieval（提取）、Automaticity（自动性）、Vocabulary（词汇量）、Engagement with Language（语言的运用和）Orthography（正字法）］对矫治流畅性上有缺陷的儿童产生了较好的效果。这一项目的最终目标“不是儿童能读得多快，而是他们能多好地理解和欣赏所读的内容。”这种干预的成功说明，有关阅读的认知机制和脑机制方面的科学知识可以促进阅读教学效益的提高。

3. 神经教育学的研究实现了研究方法与技术的创新

神经教育学的诞生对传统的教育思维方式以及研究技术与手段进行了彻底的变革，大大拓宽脑科学、认知科学和教育学的研究视野。在神经教育学的研究中，对课堂中学生学习的行为实验研究与实验室中严格控制的研究同等重要。在神经教育学研究领域正在涌现的形形色色的研究方法中，动态系统研究与光学成像研究分别成为课堂与实验室研究中的两大热点。众所周知，脑是世界上最复杂的器官，传统的线性分析方法无法捕捉脑发育中的复杂性。而动态系统理论可以描绘出脑中认知技能发展的动态变化，因此成为神经教育学中备受推崇的一种研究方法。在研究的技术手段中，功能磁共振（fMRI）、事件相关电位（ERP）、正电子发射断层成像（PET）等各种脑成像技术对于揭示儿童学习的脑机制具有重要的作用，但是这些技术只能在实验室或医院严格控制的情境中进行，而无法在学校中进行现场的研究。对于教育的运用而言，自然

情境下的课堂研究才更有教育的应用价值。光学成像技术运用近红外线来测量脑中各种活动时皮层的血液变化。与其他脑成像技术相比，这种成像仪精巧便携，并允许被试有较大的移动空间。而且，与其他工具相比，光学成像仪还具有无创性、低成本、易于维护、易于操作等特点。因此，光学成像仪在真实的课堂情境中研究儿童学习活动的脑机制方面具有巨大的优势。这项技术已经运用于儿童的阅读、计算、思考、想象以及脑损伤和痴呆的神经康复等方面的研究，在神经教育学的研究中显示出其巨大的发展潜力。在本书中，著名神经教育家 Laura-Ann Petitto 教授运用该技术揭示出，还不会说话的婴儿在知觉语音刺激时就已经开始使用脑中特异性的语言区。理解语言皮层区在语言获得中的作用，能加深我们对语言发展的理解，也能对阅读障碍一类的语言学习困难进行早期预测。

4. 神经教育学的发展呼唤新型的研究共同体与跨学科的研究人才

神经生物学的研究并不直接导致对教育学的更好的理解，但是神经生物学可以通过阐明有关学与教的认知机制来与教育学建立联系，在两者之间需要建立双向互惠的关系。在认知神经科学的基础研究和教育实践之间建立起更多的互动交流才能促进神经教育学的发展。而有效的互动交流有赖于不同领域的研究者和实践者之间形成一个新型的研究共同体，共同体成员之间竭诚合作，运用实验室的研究证据来启发教育实践，同时根据课堂中的教育观察来为科学研究提出有实践价值的问题。这种新型的研究共同体的形成可以避免错误认识的形成。同时，在这种研究共同体的研究与交流过程中，会逐渐产生出一批对心理、脑和教育这三个领域都熟悉的研究者和实践者，这样才能更好地将神经科学的研究与教育实践结合起来。拥有这样的知识体系，才能发现认知发展模式和脑发育模式之间发现相互关系。例如，技能理论表明，从出生到二十五六岁，每隔一个特定的年龄段，儿童和青少年的最佳认知表现总会有一个明显的突增，表现出发展的非连续性，与认知发展相对应的大脑皮层活动也在多种参数上出现激增和其他形式的非连续性，甚至皮层解剖特征也表现出相应的变化。这些趋于一致的证据形成了一个发展性的量表，研究者可以用它在同一个尺度下评估教师的教学、学生的学习以及教学材料的设计。

综上所述，生物学、认知科学与教育学的结合不仅为我们提供了更深广、更精确的有关人类自身与人类文化的知识，而且也为我们带来了更科学、更有效的学习和教学工具。随着“心理、脑与教育”这一全球性运动的蓬勃展开，一个庞大的科学家和教育者相互合作的研究网络正在形成；一个探索由生物学、认知科学和教育学整合而形成的新兴知识体系的新时代已经到来；一场改

革教育研究的革命正在酝酿之中！我们期待着这一新兴的研究领域对21世纪学校的学习和教学方式带来深刻的变革！

本书的翻译是跨学科团队集体合作的成果。各章的翻译者与校译者分别为：序，周加仙；前言，周加仙；第一章，柳恒爽、周加仙；第二章，李奇、周加仙；第三章，柳恒爽、周加仙；第四章，李奇、周加仙；第五章，李奇、周加仙；第六章，欧帮飞、魏娜；第七章，欧帮飞、魏娜；第八章，周加仙、柳恒爽；第九章，欧帮飞、魏娜；第十章，李奇、周加仙；第十一章，魏娜、李奇；第十二章，魏娜、李奇；第十三章，魏娜、李奇；第十四章，魏娜、李奇；索引，周加仙。最后，由周加仙老师对全书进行反复修改、统稿，董奇老师审订全文。虽然在翻译、校译与统稿的各个过程中，我们倾注了全力，但是由于神经教育学是一个全新的领域，涉及的面非常广泛，错误之处，请各位读者批评指正。

华东师范大学心理与认知科学学院
周加仙
2010年10月